

**DISEÑO DE BRAZO ROBÓTICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO
DE TRATAMIENTO DE MATERIALES SOL GEL (DIP COATING):
JOSI 2.0**

**ISABEL CRISTINA PATIÑO MEJÍA
JORGE LUIS PINCAY LOZADA**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecatrónico**

**Director
EDWIN ANDRÉS ROJAS
Ingeniero Mecatrónico**

**Co-Director
FARUK FONTHAL RICO
PhD. En Ingeniería**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2009**

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico

DIEGO FERNANDO ALMARIO ALVAREZ

Jurado

JESÚS ALFONSO LOPEZ SOTELO

Jurado

Santiago de Cali, Julio 6 de 2009

A mis padres, María Cristina y Omar, a mi hermana Hellem, por haberme permitido realizar mis estudios, por compartir conmigo los momentos felices, soportarme y apoyarme en los difíciles; a mis amigos y amigas por estar ahí y a Jorge por soportar mis mal genios y compartir conmigo la realización de este proyecto.

Isabel Cristina Patiño Mejía.

Esta meta alcanzada está dedicada a Dios, por darme Él la fuerza y voluntad para salir adelante, a Luis y Piedad, mis padres por su incondicional apoyo, a mis hermanos y hermana quienes son la voz de mi conciencia y la experiencia, a Isabel por soportarme en los momentos difíciles.

Jorge Luis Pincay Lozada.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Clara Eugenia Goyes, quien confió en nosotros desde un inicio para la realización de este proyecto, al Dr. Faruk Fonthal Rico, y el Ingeniero Edwin Andrés Rojas, quienes siempre nos brindaron sus conocimientos y experiencias en la dirección de este trabajo, al Ingeniero Andrés Felipe Navas, quien también nos apoyo desde su experiencia personal en el proceso de desarrollo de productos mecatrónicos, a los ingenieros Omar Patiño, Néstor Pincay, Robert Cooper y Oscar Campo por el apoyo en los diseños estructurales.

Agradecemos también al Grupo de Investigación en Materiales Avanzados para Micro y Nano Tecnología (IMAMNT) perteneciente a la Universidad Autónoma de Occidente, Cali – Colombia; quien nos acogió como estudiantes de investigación y nos brindo su espacio para poder desarrollar este proyecto.

A tres grandes ingenieros, Jimmy Tombé Andrade, Diego Fernando Almario y Jesús Alfonso López, quienes fueron los directores del programa durante nuestra estancia en la universidad, gracias por su aporte al programa y por estar buscando siempre lo mejor, por estar atentos y abiertos a nuestras inquietudes y sugerencias.

A todos nuestros docentes y compañeros. Por último a todas las personas que conforman nuestra Universidad Autónoma de Occidente, Cali – Colombia.

Gracias por guiarnos y confiar en nosotros.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	18
RESUMEN	20
1. INTRODUCCIÓN	21
2. JUSTIFICACIÓN	25
3. OBJETIVOS	26
3.1 OBJETIVO GENERAL	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
4. METODOLOGÍA	27
5. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN	30
6. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO	31
6.1. IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES	31
6.2. ASOCIACIÓN DE MÉTRICAS A LOS REQUERIMIENTOS	33
6.3. RELACIÓN MÉTRICAS – NECESIDADES	34
6.4. ESTUDIO DE LA COMPETENCIA (Benchmarking)	38
6.4.1. Nivel de satisfacción de los clientes	38

6.4.2. Métricas de la competencia	39
6.5. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE LA CALIDAD QFD	40
6.5.1. Relación entre métricas, necesidades y competencia	40
6.5.2. Relaciones de manera porcentual	41
6.5.3. Relación entre las métricas	42
6.5.4. Despliegue de la función de calidad	43
6.6. ESPECIFICACIONES PRELIMINARES	45
7. GENERACIÓN DE CONCEPTOS	48
7.1. CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA	48
7.2. DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL	49
7.3. GENERACIÓN DE CONCEPTOS PARA CADA BLOQUE FUNCIONAL	50
7.4 ÁRBOLES DE CLASIFICACIÓN	54
7.5. DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL REFINADA	60
7.6. COMBINACIÓN DE CONCEPTOS	62
8. SELECCIÓN DE CONCEPTOS	64
8.1 PROCESO DE TAMIZAJE	69

8.2. EVALUACIÓN DE CONCEPTOS	70
9. ARQUITECTURA DE JOSI 2.0	73
9.1. DESCOMPOSICIÓN + INTERACCIONES	74
9.2. ESQUEMA DEL PRODUCTO	76
9.3. DISTRIBUCIÓN GEOMETRICA	77
9.4. INTERACCIONES INCIDENTALES	78
10. DISEÑO DETALLADO	80
10.1. SISTEMA ELECTRÓNICO	80
10.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PROGRAMACIÓN	86
10.3. MEMORIA DE CALCULOS MECANICOS Y ESTRUCUTRALES	89
10.4. FUNCIONAMIENTO DE JOSI 2.0	121
11. CINEMATICAS JOSI 2.0	122
11.1. CINEMATICA DIRECTA	122
11.2. CINEMATICA INVERSA	125
12. DISEÑO INDUSTRIAL	127
13. DISEÑO MANUFACTURA	129
13.1. ÁREA DE TRABAJO DE JOSI 2.0	146

14. DISEÑO PARA LA MANTENIBILIDAD	151
15. CONCLUSIONES	153
BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXOS	158

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Planteamiento de la misión JOSI 2.0.	30
Tabla 2. Identificación de necesidades.	31
Tabla 3. Niveles de importancia de los requerimientos.	32
Tabla 4. Métricas y necesidades.	34
Tabla 5. Relación necesidades y métricas.	35
Tabla 6. Satisfacción de los clientes con productos existentes.	38
Tabla 7. Métricas en la competencia.	39
Tabla 8. Valores marginales e ideales JOSI 2.0.	45
Tabla 9. Materiales.	46
Tabla 10. Necesidades del cliente.	48
Tabla 11. Primera tabla de combinación de conceptos.	62
Tabla 12. Segunda tabla de combinación de conceptos.	63
Tabla 13. Tercera tabla de combinación de conceptos.	63
Tabla 14. Matriz de Tamizaje.	69
Tabla 15. Matriz de evaluación de conceptos.	71

Tabla 16. Dimensiones de roscas ACME.	96
Tabla 17. Resistencia de materiales.	110
Tabla 18. Especificaciones y resistencias SAE para tornillos de acero.	118
Tabla 19. Necesidades Ergonómicas y Estéticas JOSI 2.0.	127
Tabla 20. Características de los rodamientos	145
Tabla 21. Elementos electrónicos y de control.	147
Tabla 22. Costos de fabricación.	148
Tabla 23. Costos de mantenimiento.	152

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas de desarrollo del producto.	22
Figura 2. Relación QUE-COMO (Necesidades-Métricas) y con benchmarking.	41
Figura 3. Relación entre los COMO (métricas) e importancia de los QUE (requerimientos).	42
Figura 4. Correlación entre métricas.	43
Figura 5. Despliegue completo de la función de la calidad QFD.	44
Figura 6. Diagrama de bloques funcionales.	49
Figura 7. Refinamiento de la descomposición funcional.	61
Figura 8. Relaciones elementos físicos-funciones JOSI 2.0.	73
Figura 9. Descomposición + Interacciones.	75
Figura 10. Esquema del Producto.	76
Figura 11. Distribución geométrica JOSI 2.0.	77
Figura 12. Diagrama Sistema electrónico JOSI 2.0.	80
Figura 13. Circuito de la Fuente de JOSI 2.0.	82

Figura 14. Circuito con microcontrolador PIC 16F877.	84
Figura 15. Puente H motor 1.	85
Figura 16. Puente H motor 2.	85
Figura 17. Diagrama del teclado.	86
Figura 18. Diagrama de bloques programación PIC 16F877.	87
Figura 19. Subrutina del PIC 16F877.	88
Figura 20. Acople de las pinzas 1.	89
Figura 21. Pinzas del Gripper.	90
Figura 22. Acople de las Pinzas 2.	93
Figura 23. Unión 1. Brazo horizontal.	97
Figura 24. Unión 2. Brazo horizontal.	98
Figura 25. Lateral del brazo horizontal.	100
Figura 26. Unión entre laterales brazo horizontal.	101
Figura 27. Morfología cilíndrica de JOSI 2.0.	106
Figura 28. Radios y longitudes de JOSI 2.0 en vista lateral.	108
Figura 29. Tornillería de sujeción.	116

Figura 30. Calculo de esfuerzo de flexión del brazo horizontal.	118
Figura 31. Diagrama para barras de enlace.	120
Figura 32. Dimensiones de Barras.	120
Figura 33. Medida eslabones y planos de referencia JOSI 2.0 en cinemática cero.	123
Figura 34. JOSI 2.0 en posición intermedia.	126
Figura 35. Base del robot.	129
Figura 36. Base.	130
Figura 37. Puerta desmontable de la base.	130
Figura 38. Soporte acople del tornillo y motor.	131
Figura 39. Acople inferior tornillo sin fin.	131
Figura 40. Unión 1. Brazo horizontal.	132
Figura 41. Unión 2. Brazo horizontal.	132
Figura 42. Acople superior tornillo sin fin.	132
Figura 43. Tapa acople pinzas.	133
Figura 44. Acople pinzas.	133
Figura 45. Pinzas del gripper.	134
Figura 46. Lateral brazo horizontal.	134

Figura 47. Unión lateral brazo horizontal.	135
Figura 48. Empack inferior.	135
Figura 49. Empack superior.	136
Figura 50. Porta laminas.	136
Figura 51. Porta beackers.	137
Figura 52. Guía.	137
Figura 53. Tornillo sin fin.	138
Figura 54. Ejemplo recubrimiento brazo robótico.	139
Figura 55. Ubicación tornillería base.	140
Figura 56. Ubicación tornillería en el brazo horizontal y pinzas.	140
Figura 57. Ubicación tornillos de máquina.	141
Figura 58. Ubicación tornillería en vista superior.	142
Figura 59. Ubicación tornillería en tapa de la base.	142
Figura 60. Ubicación tornillería en soporte.	143
Figura 61. Rodamientos del tornillo sin fin.	144
Figura 62. Rodamientos en el soporte.	144
Figura 63. Área de trabajo JOSI 2.0.	146

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Opción 1 desplazar la muestra	158
Anexo 2. Opción 2 desplazar la muestra	159
Anexo 3. Opción 3 desplazar la muestra	160
Anexo 4. Opción 4 desplazar la muestra	161
Anexo 5. Opción 5 desplazar la muestra	162
Anexo 6. Opción 6 desplazar la muestra	163
Anexo 7. Opción 7 desplazar la muestra	164
Anexo 8. Datasheet pistón de JOSI 2.0	165
Anexo 9. Tabla de conversiones de unidades	167
Anexo 10. Data sheet Servo Motor serie 9234 brush DC	168
Anexo 11. Data sheet Slotless Bldc Motor referencia BI-04-100-0.30	169
Anexo 12. Plano acople inferior tornillo sin fin	170
Anexo 13. Plano acople pinzas	171
Anexo 14. Plano base del robot	172
Anexo 15. Plano base	173

Anexo 16. Plano Empack superior	174
Anexo 17. Plano Empack inferior	175
Anexo 18. Plano guía	176
Anexo 19. Plano lateral brazo horizontal	177
Anexo 20. Plano pinza del gripper	178
Anexo 21. Plano porta láminas 200mm	179
Anexo 22. Plano porta láminas 50mm	180
Anexo 23. Plano porta beackers	181
Anexo 24. Plano soporte acople inferior tornillo sin fin	182
Anexo 25. Plano tapa acople pinzas	183
Anexo 26. Plano acople superior tornillo sin fin	184
Anexo 27. Plano puerta desmontable de la base	185
Anexo 28. Plano tornillo sin fin	186
Anexo 29. Plano unión 1. Brazo horizontal	187
Anexo 30. Plano unión 2. Brazo horizontal	188
Anexo 31. Plano unión latera brazo horizontal	189
Anexo 32. Isométrico	190

GLOSARIO

ARTICULACIÓN: Parte que permite el movimiento de un eslabón y hace parte de la cadena cinemática de un brazo robótico.

AUTOMATIZACIÓN: Uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos.

CLÚSTER: En sentido genérico, un clúster es un conjunto de máquinas funcionando como unidad y trabajando juntas para tratar una única tarea.

ESLABÓN: Parte rígida que hace parte de la cadena cinemática de un brazo robótico y se encuentra entre dos articulaciones.

GRIPPER: Similar a unas pinzas o simulación de una mano que se utiliza como herramienta en un manipulador o brazo robótico.

INERCIA: Propiedad de los cuerpos de no modificar su estado de reposo o movimiento si no es por la acción de una fuerza.

MACHUELADO: Sitio roscado diferente a una tuerca.

MOTOR: Es una máquina capaz de transformar la energía almacenada en combustibles, baterías u otras fuentes, en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.

NEOPRENO: Caucho sintético de gran resistencia mecánica y propiedades aislantes del calor y la oxidación, por lo que tiene usos industriales y en materiales y prendas deportivas.

PERNO: sujetador con cabeza y vástago recto roscado que se utiliza para quedar roscado en una tuerca.

PISTÓN: Elemento similar a un motor que permite realizar no movimientos rotacionales sino traslacionales lineales.

SOLENOIDE: (ver Pistón)

ROBOT: El término proviene del checo “robota”. Maquina programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones de manera repetitiva.

TORNILLO: Instrumento que permite sujetar dos piezas por medio de un movimiento rotacional utilizando dos topes, uno fijo y otro móvil.

TORNILLO DE MAQUINA: También conocido como tornillo de cabeza, es un tornillo que queda roscado en un sitio machuelado en lugar quedar roscado en una tuerca.

TORQUE: Magnitud resultante del producto del valor de una fuerza por su distancia a un punto de referencia.

TOUCH SCREEN: Pantalla táctil es una pantalla que mediante un contacto directo sobre su superficie permite la entrada de datos y órdenes al dispositivo. A su vez, actúa como periférico de salida, mostrando los resultados introducidos previamente. Este contacto también se puede realizar con lápiz u otras herramientas similares.

RESÚMEN

El brazo robótico JOSI 2.0 es un dispositivo el cual busca la automatización del proceso de tratamiento de materias sol gel Dip Coating, el diseño de este equipo esta enmarcado dentro del grupo de Investigación de materiales avanzados para micro y nano tecnológica IMAMNT de la Universidad Autónoma de Occidente, inmerso en el proyecto de “Fabricación de guías de ondas planares nano estructuradas usando técnicas de irradiación laser”. Este diseño fue realizado en el segundo semestre del año 2008 e inicios del primer semestre del 2009.

El diseño de este equipo se realiza por medio de la metodología del diseño concurrente, esta metodología es también conocida como diseño mecatrónico, con la cual se permite realizar subsistemas de diferentes ramas de la ingeniería simultáneamente y a su vez la regresión a pasos anterior del método para realizar ajustes necesarios y poder continuar con el diseño sin necesidad de rehacer el trabajo, tal como se muestra a través del presente documento.

El brazo robótico JOSI 2.0 resultante del proceso de diseño posee una morfología tipo Cilíndrica con dos grados de libertad, más un actuador final, tipo gripper, que posee movimientos de apertura/cierre con el fin de sostener las muestras a revestir, este actuador también fue diseñado para la aplicación propuesta para el brazo robótico.

1. INTRODUCCIÓN

Constantemente se busca mejorar las propiedades de los materiales existentes, por ellos nacen los métodos de tratamientos de materiales, pulvimetalurgia, pulverización catódica, así como diferentes recubrimientos, entre otros. En la actualidad las tendencias en los nuevos materiales están enmarcadas hacia los componentes micro y nano estructurados, y así cada día se hacen más necesarias técnicas para el tratamientos de estas estructuras, como el llamado proceso de Sol Gel, existen tres variaciones de este tratamiento: el cambio de pH, la polimerización y nuestro objeto de estudio el Dip Coating, para este último no hay tratamientos automatizados en su totalidad lo que deja un amplio margen de error humano debido a la falta de control del proceso, por eso presentamos como una solución un brazo robótico JOSI 2.0 que permita la programación de los parámetros requeridos para optimizar el proceso.

El recubrimiento de Sol Gel se presenta para mejorar las propiedades del material, consiste en crear un recubrimiento con otro material o materiales dopantes, este proceso se lleva a cabo a altas temperaturas para lograr la cristalización del solvente al soluto y un completo acople de los materiales.

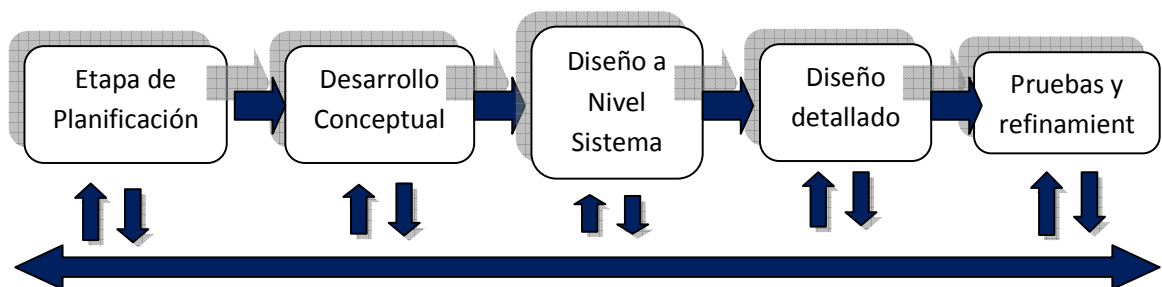
Aunque el proceso Sol Gel no es nuevo, todavía se desconocen la totalidad de los mecanismos involucrados, los cuales influyen en la estructura y propiedades de los materiales. No obstante, se han realizado importantes avances en aplicaciones del Sol Gel, tales como materiales para óptica no lineal, donde se desarrollan nuevos compuestos basados en polímeros no lineales y combinaciones de óxidos. Algunos materiales se les pueden adicionar iones de tierras raras para aplicaciones en comunicaciones, láseres, sensores, desplegados, entre otras.

Las normas del proceso de Sol Gel, Dip Coating, varían según los requerimientos de cada prueba, el número de capas de la lámina a revestir, la velocidad de introducción de esta en el fluido, el tiempo de permanencia en la solución, la velocidad de salida, el tiempo en el horno, el tiempo de cristalización, entre otros.

Debido a que las actuales maquinas de Sol Gel presentan deficiencia en la exactitud y calidad de las muestras, se plantea el brazo robótico para la automatización del proceso de tratamiento de materiales Sol Gel (Dip Coating)

JOSI 2.0 el cual permita desarrollar tratamientos de materiales con el método de Sol-Gel, Dip Coating, siendo programable para cada prueba que se requiera; la realización de este diseño se hace mediante el método de desarrollo de productos mecatrónicos, también conocida como diseño concurrente, en el cual se manejan las diferentes áreas de la ingeniería mecatrónica como son: la electrónica, el control, la mecánica y la informática agrupándolas en un solo conjunto y de manera sinérgica, las etapas que se deben suplir en esta manera de desarrollo de productos están ilustradas en la Figura 1.

Figura 1. Etapas de desarrollo del producto



La ingeniería Mecatrónica como mencionamos anteriormente es la combinación sinérgica de distintas ramas de la Ingeniería, y tiene como principal propósito es el análisis y diseño de productos y de procesos automatizados. Por ello la metodología del diseño Mecatrónico puede ser desarrollada para lograr el diseño de El Brazo robótico para la automatización del proceso de tratamiento de materiales Sol Gel (Dip Coating) JOSI 2.0, siguiendo las diferentes fases de desarrollo de un producto, empezando por la *Planificación* en donde se selecciona la segmentación del mercado y el planteamiento de la misión del producto encontrando a los clientes primarios y secundarios del producto, así mismo se encuentran algunas restricciones; y las partes implicadas con el funcionamiento del mismo. Se proseguirá con la fase de *Desarrollo conceptual* en la cual se realiza la identificación de las necesidades a partir de lo manifestado por el cliente y con estas establecer las especificaciones preliminares del producto, para lo cual se hace uso de la matriz de QFD (despliegue de la función de calidad), en esta matriz se presenta una relación cualitativa entre las especificaciones y las necesidades así mismo se realiza una comparación con la competencia, benchmarking, con el fin de obtener un producto competitivo y de calidad. Posteriormente pasamos a la generación de los conceptos mediante 5 pasos: en primera instancia se encuentra la *clarificación del problema* que vamos a solucionar mediante *descomposiciones funcionales del producto*, en segundo punto encontramos las *búsquedas externas* consultando con expertos en el método de Sol Gel (*Dip Coating*) con el fin de establecer los factores críticos del proceso. También se consultaran expertos en diseño de infraestructuras para

brazos robóticos, además una búsqueda en literatura especializada para conocer los antecedentes de la aplicación de la técnica de tratamiento de materiales. En el tercer punto en la generación de conceptos se encuentran las *búsqueda internas*, donde se realizara una lluvia de ideas dentro del grupo para generar nuevos conceptos del diseño del brazo robótico para luego pasar al cuarto punto: *exploración sistematizada*, en donde se procede a realizar el árbol de clasificación y la tabla de combinación con el fin de ponderar los conceptos y podar los menos probable, así como permite ver la desatención en alguna rama, y enfocarse en los problemas importantes por medio de los cuales se va a logra el objetivo del producto y mirar cuantas posibles soluciones poseen dichos problemas. Una vez se realice esa exploración, se continua con el quinto punto que es *reflejar el proceso* con el fin de tener un mejoramiento continuo durante el proceso. Durante todas las etapas del proceso de generación de conceptos se hace uso del servicio profesional de *Diseño Industrial* para que los conceptos siempre sigan unos estándares de calidad en la parte estética y funcional con el fin de tener como resultado un producto agradable y fácil de usar para los usuarios.

Siguiendo dentro de la misma fase de desarrollo conceptual se pasa a seleccionar los conceptos generados previamente esto se realiza utilizando técnicas como el pasa NO pasa, observando la viabilidad y disponibilidad para crear los conceptos que pasan por el embudo de selección conformando un proceso iterativo de elecciones haciendo uso de decisiones externas de los clientes y las decisiones del grupo realizador del proyecto se pasa a definir los criterios de selección, los conceptos de referencia y se le da la ponderación a esos criterios para posteriormente calificar los conceptos generados que pasen la eliminación del pasa NO pasa, por medio de la matriz de tamizaje en la cual se eliminan mas conceptos y como medida final se debe proceder a analizar cuidadosamente los promedios obtenidos, para lo cual se cuenta con la herramienta de ponderación por el método de pareo con el fin de desarrollar el mejor concepto. Y realizar una matriz para evaluar dichos conceptos para obtener un concepto definitivo.

Es de gran importancia mantener una buena comunicación y retroalimentación con el cliente, de esta manera la prueba de conceptos se realiza mediante una entrevista personal con asistencia de los medios necesarios en el cual se comunica el concepto en un diseño preliminar en simulación 3D descartando personas que no posean conocimientos previos del problema, dejando personal con experiencia en esta área porque es importante recordar que en caso de no suplir las especificaciones y de haber pasado alguna por alto se debe devolverse a etapas y/o fases anteriores a corregir los resultados de la metodología.

Una vez definidas las especificaciones finales tanto físicas como de funcionamiento del brazo robótico para la automatización del proceso de tratamiento de materiales Sol Gel (Dip Coating) JOSI 2.0 se procede a realizar la descomposición de las decisiones en el diseño a nivel sistema, definiendo así si el sistema de arquitectura es modular o integral partiendo de si se busca lograr simplicidad y reutilización para una familia de productos o plataforma, o en cambio se busca una mayor interacción entre los elementos físicos y los elementos funcionales. Una vez definida la arquitectura del proyecto, se procederá a la elaboración del desarrollo de la manufactura del producto, siguiendo a partir de unos parámetros considerados de relevancia por el grupo ejecutor del proyecto, tal como lo son la fiabilidad del producto final, y/o la aceptación del cliente por el mismo. Cada etapa del proceso de desarrollo del producto debe ser pensada de tal manera que el producto posea buena mantenibilidad, factor considerado de gran importancia en los productos mecatrónicos que tiene como fin lograr un producto final el cual sea de fácil mantenimiento a un relativo bajo costo, de fácil desarme y montaje. Por lo cual se debe estar atentos a que este requerimiento se esté cumpliendo a cabalidad en el desarrollo de mantenimiento del producto.

Una vez que se establece la arquitectura del producto se da por sentado la distribución geométrica de las piezas y subconjuntos del sistema, por lo cual se cumplen todos los requisitos para empezar el diseño de los subsistemas, tanto eléctrico-electrónico, mecánico-estructural, software, y de control, y posteriormente realizar una integración de ellos y obtener el diseño del producto final.

2. JUSTIFICACIÓN

En el diseño se debe tener en cuenta la elección de la mejor tecnología y materiales para la fabricación de un brazo robótico que cumpla con sus funciones de una forma óptima y segura.

En la actualidad este método no se encuentra totalmente automatizado, existen las maquinas para la inmersión de la placa en la solución pero el paso de esta al horno se hace de forma manual arriesgando el proceso por tiempos no constantes o por posibilidades de caída de la muestra, o pieza a recubrir, el diseño de: el brazo robótico para la automatización del proceso de tratamiento de materiales Sol Gel (Dip Coating) JOSI 2.0 se realizará con el fin que permita desarrollar tratamientos de materiales con el método de Sol Gel, Dip Coating, alcanzando recubrimientos con mayor calidad que los actuales, este diseño se realizará en busca de que en la nueva máquina de producción de Sol Gel se puedan controlar a cabalidad las variables que influyen en la eficacia del resultado.

El diseño de este producto permitirá que su futura implementación logre mejorar los laboratorios de materiales y biomateriales de la Universidad Autónoma de Occidente. Por ello para realizar el diseño del brazo robótico para la automatización del proceso de tratamiento de materiales sol gel (Dip Coating): JOSI 2.0 se contará con financiación por parte de la Universidad Autónoma de Occidente. Compartida a su vez con el grupo de Investigación en Materiales Avanzados para Micro y Nano Tecnología IMAMNT y financiación propia de los estudiantes participantes.

El diseño de este brazo se realizó utilizando el método de diseño concurrente y los recursos que nos brinda la Universidad Autónoma de Occidente como software, planta física, y guía por parte de los docentes hora cátedra y tiempo completo de la universidad.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un brazo robótico que permita realizar el proceso de recubrimiento de placas utilizando el método de Sol-Gel de una forma óptima y segura denominado: *“Brazo robótico para sol gel JOSI 2.0”* haciendo uso del método de Ingeniería Concurrente (Diseño Mecatrónico).

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Realizar el diseño y animación de la parte estructural del brazo robótico utilizando el software de Solid Edge.

Realizar el diseño y simulación del subconjunto eléctrico y electrónico utilizando los softwares requeridos sean libres o pertenecientes a la Universidad Autónoma de Occidente.

Realizar el diseño y simulación del subconjunto de control utilizando los softwares requeridos sean libres o pertenecientes a la Universidad Autónoma de Occidente.

Realizar el diseño del subconjunto de programación (software).

Elaborar un documento técnico en donde se consigne y explique el diseño del: *“brazo robótico para la automatización del proceso de tratamiento de materiales Sol Gel (Dip Coating) JOSI 2.0”*

4. METODOLOGÍA

La ingeniería mecatrónica como combinación sinérgica de distintas ramas de la ingeniería, tiene como principal propósito el análisis y diseño de productos y de procesos automatizados. Por ello la metodología del diseño mecatrónico también conocida como diseño concurrente puede ser desarrollada para lograr el diseño de el brazo robótico para la automatización del proceso de tratamiento de materiales Sol Gel (Dip Coating) JOSI 2.0, siguiendo las diferentes fases de desarrollo de un producto, empezando por la *Planificación* en donde se selecciona la segmentación del mercado y el planteamiento de la misión del producto encontrando a los clientes primarios y secundarios del producto, así mismo se encuentran algunas restricciones; y las partes implicadas con el funcionamiento del mismo. Se proseguirá con la fase de *desarrollo conceptual* en la cual se realiza la identificación de las necesidades a partir de lo manifestado por el cliente y con estas establecer las especificaciones preliminares del producto, para lo cual se hace uso de la matriz de QFD (despliegue de la función de calidad), en esta matriz se presenta una relación cualitativa entre las especificaciones y las necesidad, a su vez la QFD realiza la comparación de benchmarking, la cual es un paralelo con la competencia que posea productos similares y analizar como solucionan problemas similares, esto se lleva a cabo buscando lograr un excelente producto. Posteriormente pasamos a la generación de los conceptos mediante 5 pasos: en primera instancia se encuentra la *clarificación del problema* que vamos a solucionar mediante *descomposiciones funcionales del producto*, en segundo punto encontramos las *búsquedas externas* consultando con expertos en el método de Sol Gel (*Dip Coating*) con el fin de establecer los factores críticos del proceso. También se consultaran expertos en diseño de infraestructuras para brazos robóticos, además una búsqueda en literatura especializada para conocer los antecedentes de la aplicación de la técnica de tratamiento de materiales. En el tercer punto en la generación de conceptos se encuentran las *búsquedas internas*, donde se realizara una lluvia de ideas dentro del grupo para generar nuevos conceptos del diseño del brazo robótico para luego pasar al cuarto punto: *exploración sistematizada*, en donde se procede a realizar el árbol de clasificación y la tabla de combinación con el fin de ponderar los conceptos y podar los menos probables, así como permite ver la desatención en alguna rama, y enfocarse en los problemas importantes por medio de los cuales se va a logra el objetivo del producto y mirar cuantas posibles soluciones poseen dichos problemas. Una vez se realice esa exploración, se continua con el quinto punto que es *reflejar el proceso* con el fin de tener un mejoramiento continuo durante el proceso. Durante todas las etapas del proceso de generación de conceptos se hace uso del servicio profesional de *Diseño Industrial* para que los conceptos siempre sigan unos estándares de calidad en la parte estética y funcional con el fin de tener como resultado un producto tecnológico, agradable y fácil de usar para los usuarios.

Siguiendo dentro de la misma fase de desarrollo conceptual se pasa a seleccionar los conceptos generados previamente esto se realiza utilizando técnicas como el pasa NO pasa, observando la viabilidad y disponibilidad para crear los conceptos que pasan por el embudo de selección conformando un proceso iterativo de elecciones haciendo uso de decisiones externas de los clientes y las decisiones del grupo realizador del proyecto se pasa a definir los criterios de selección, los conceptos de referencia y se le da la ponderación a esos criterios para posteriormente calificar los conceptos generados por medio de la matriz de tamizaje en la cual uno o más conceptos en caso de que solo un concepto pase dicho tamizaje es elegido sin necesidad de continuar con el proceso de selección, de lo contrario se debe proceder a analizar cuidadosamente los promedios obtenidos, para lo cual se cuenta con la herramienta de la ponderación por el método de pareo con el fin de desarrollar el mejor concepto.

Es de gran importancia mantener una buena comunicación y retroalimentación con el cliente, de esta manera la prueba de conceptos se realiza mediante una entrevista personal con asistencia de los medios necesarios en el cual se comunica el concepto en un diseño preliminar en simulación 3D descartando personas que no posean conocimientos previos del problema, dejando personal con experiencia en esta área porque es importante recordar que en caso de no suplir las especificaciones y de haber pasado alguna por alto devolvernos a etapas y/o fases anteriores a corregir los resultados de la metodología.

Una vez definidas las especificaciones finales tanto físicas como de funcionamiento del Brazo robótico para la automatización del proceso de tratamiento de materiales Sol Gel (Dip Coating) JOSI 2.0 se procede a realizar la descomposición de las decisiones en el diseño a nivel sistema, definiendo así si el sistema de arquitectura es modular o integral partiendo de si se busca lograr simplicidad y reutilización para una familia de productos o plataforma, o en cambio se busca una mayor interacción entre los elementos físicos y los elementos funcionales. Una vez definida la arquitectura del proyecto, se procederá a la elaboración del desarrollo de la manufactura del producto, siguiendo a partir de unos parámetros considerados de relevancia por el grupo ejecutor del proyecto, tal como lo son la fiabilidad del producto final, y/o la aceptación del cliente por el mismo. Cada etapa del proceso de desarrollo del producto debe ser pensada de tal manera que el producto posea buena mantenibilidad, factor considerado de gran importancia en los productos mecatrónicos por lo cual se debe estar atentos a que este requerimiento se esté cumpliendo a cabalidad a través de todo el desarrollo del producto.

Una vez que se establece la arquitectura del producto se da por sentado la distribución geométrica de las piezas y subconjuntos del sistema, por lo cual se cumplen todos los requisitos para empezar el diseño de los subsistemas, tanto eléctrico-electrónico, mecánico-estructural, software, y de control.

5. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN

Este proyecto se ha seleccionado por la importancia que tiene en el campo de tratamiento de materiales ya que es una idea original que permite mejorar la eficiencia y eficacia del método Sol Gel.

En la Tabla 1. Se puede observar la misión del producto, es decir, sus funciones y sus principales características como proyecto.

Tabla 1. Planteamiento de la misión JOSI 2.0

PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN
<u>DESCRIPCION DEL PRODUCTO</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Brazo robótico que permite automatizar el proceso tratamiento de materiales de sol gel Dip Coating.
<u>PRINCIPALES OBJETIVOS DE MARKETING</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Diseño para el segundo semestre de 2008 y primer semestre de 2009
<u>MERCADO PRIMARIO</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Universidad Autónoma de Occidente
<u>MERCADO SECUNDARIO</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Universidades, Institutos y laboratorios que realicen estudios y/o prácticas con el método de tratamiento de materiales sol gel.
<u>PREMISAS Y RESTRICCIONES</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Recubrimiento térmico en la parte del brazo que permanece adentro del horno.▪ Distancias programables para algunos procesos.▪ Utiliza alimentación de 110V.
<u>PARTES IMPLICADAS</u> <ul style="list-style-type: none">▪ Universidad Autónoma de Occidente▪ Grupo de Investigación en Materiales Avanzaos para Micro y Nanotecnología IMAMNT Universidad Autónoma de Occidente▪ Operarios▪ Departamento legal▪ Personal de producción

6. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Lo primero para lograr las especificaciones del producto es tener en cuenta que el proceso de diseño debe iniciar con unos puntos o ítems a satisfacer, estos ítems son conocidos como los planteamientos del cliente, posteriormente se convierten en los requerimientos del cliente o necesidades del cliente cuando son expresadas con un lenguaje técnico propio de las ramas de la ingeniería, estos requerimientos poseen un nivel de importancia independiente para cada requerimiento o necesidad. Esta ponderación es necesaria para poder encaminar el proceso de desarrollo a suplir las necesidades de más alta exigencia, y obtener un resultado que satisfaga en el mayor porcentaje lo solicitado por el consumidor y no caer en el error de enfatizar el diseño a satisfacer aspectos pocos relevantes del producto.

6.1. IDENTIFICACION DE NECESIDADES

Todo el proceso de desarrollo del producto comienza con una “voz del cliente” es el medio por el cual el cliente expresa lo que desea y espera del producto, estos manifiestos son conocidos como los planteamientos del cliente, una vez se analizan y procesan estos datos se obtiene unas necesidades identificadas.

En la Tabla 2 se observan las necesidades que fueron planteadas por los clientes en su lenguaje y la identificación en un lenguaje aplicado a la ingeniería con el fin de empezar un proceso de ingeniería concurrente con unos requerimientos bien establecidos.

Tabla 2. Identificación de necesidades

Planteamiento del cliente	Identificación de las necesidades
“Necesito transportar el equipo por diferentes laboratorios”	El dispositivo será liviano por lo cual es de fácil portabilidad.
“Las dispositivos tecnológicos son difíciles de manejar”	El brazo Robótico posee una agradable interfaz de usuario para su manipulación
“En los laboratorios es necesario la concentración, y el ruido de los equipos la afecta”	El brazo robótico funcionara de manera silenciosa

“Los movimientos del brazo deben ser muy precisos”	El brazo tendrá precisión en los movimientos
“El recibo de los servicios públicos no debe aumentar mucho cuando el equipo este en funcionamiento”	La potencia requerida por el dispositivo es mínima
“En mi trabajo se deben realizar muchos recubrimientos en un solo día”	El dispositivo puede realizar muchas repeticiones sin que su rendimiento se vea afectado
“No quiero tener que llamar a un especialista para poder realizar el mantenimiento del equipo”	El brazo robótico será de fácil mantenimiento
“No quiero que al tropezar con la mesa donde este el equipo se dañe el proceso”	El brazo robótico tendrá estabilidad sísmica
“Deseo que cualquier especialista pueda arreglar el brazo en caso de que se dañe”	El brazo Robótico será de fácil reparación
“Cuando se me dañe alguna parte del brazo, quiero poder reemplazarla fácilmente”	Las refracciones del brazo robótico podrán ser conseguidas fácilmente en el comercio local
“Necesito que el dispositivo introduzca el material a recubrir en el horno”	El brazo Robótico resistirá altas temperaturas
“Deseo que el dispositivo sea capaz de soportar con los materiales que voy a recubrir”	El dispositivo tendrá la capacidad de carga suficiente
“Es necesario que en el proceso de recubrimiento, el material quede en la mitad del horno”	El alcance del brazo robótico permitirá acceder a la mitad del horno

En la tabla 3 se muestra los niveles de importancia para los 17 requerimientos de JOSI 2.0. Este nivel de importancia esta dado en una escala de 1a 5 en donde 1 es el menos importante y 5 el más importante.

Tabla 3. Niveles de importancia de los requerimientos

No.		REQUERIMIENTOS	IMPORTANCIA
1	Brazo robótico	Liviano	1
2	Brazo robótico	Portable	1
3	Brazo robótico	Fácil comunicación con el usuario	4
4	Brazo robótico	Silencioso	3
5	Brazo robótico	Preciso	5
6	Brazo robótico	Fácil Uso	4
7	Brazo robótico	Bajo consumo de potencia	2
8	Brazo robótico	Trabajo continuo	4
9	Brazo robótico	Fácil mantenimiento	3

10	Brazo robótico	Inmunidad a las perturbaciones	4
11	Brazo robótico	Fácil reparación	3
12	Brazo robótico	Fácil adquisición de refracciones	3
13	Brazo robótico	Resistencia a la temperatura	5
14	Brazo robótico	Capacidad de carga	4
15	Brazo robótico	Alcance a la mitad del horno	4
16	Brazo robótico	Seguridad industrial	5
17	Brazo robótico	Estabilidad	4

6.2. ASOCIACIÓN DE MÉTRICAS A LOS REQUERIMIENTOS

A continuación se asocian medidas físicas a los requerimientos, estas medidas físicas, llamadas métricas, son utilizadas para dar un valor en unidades de esa medida para estandarizar el diseño, y lograr hacer una posterior comparación con los valores de la competencia, la Tabla 4 muestra las métricas que se trabajan en este producto y las relaciones entre las métricas y las necesidades; también se ilustra la ponderación de importancia de cada métrica según la importancia de los requerimientos con los cuales está asociada.

Tabla 4. Métricas y necesidades

No.	NECESIDAD No.	MÉTRICA	UNIDAD	IMPORTANCIA
1	1,2	Masa total	Kg	1
2	1,2	Dimensiones	mm	1
3	1,2	Material	Lista	1
4	4	Nivel de ruido acústico	dB	3
5	5	Precisión	mm	5
6	5	Resolución	mm	5
7	3,6	Interfaz	Subjetivo	4
8	8	Repetibilidad	mm	4
9	7	Consumo de potencia	KVA	2
10	3,6	Plataformas	Lista	4
11	5	BackSlash	mm	5
12	8	Deriva	mm	4
13	9,12	Refracciones	Lista	3
14	13	Temperatura	°C	5
15	15	Alcance	mm	4
16	14	Capacidad de carga	Kg	4
17	17	Sobre impulso	mm	4
18	9,11	Tiempo medio de reparación	min	3
19	16	Seguridad industrial	Subjetivo	5
20	17	Tipo de control	Lista	4

6.3. RELACIÓN METRICAS – NECESIDADES

Con el fin de establecer claridad para el posterior despliegue de la función de calidad QFD, se presentan en la Tabla 5 las relaciones existentes entre los requerimientos del cliente y las métricas. Cada punto significa la corroboración de una relación.

Tabla 5. Relación necesidades y métricas.

Requerimientos \ Métricas																					
	Importancia	1. Masa total	2. Dimensiones	3. Material	4. Nivel de ruido acústico	5. Precisión	6. Resolución	7. Interfaz	8. Repetibilidad	9. Consumo de potencia	10. Plataformas	11. BackSlash	12. Deriva	13. Refracciones	14. Temperatura	15. Alcance	16. Capacidad de carga	17. Sobre impulso	18. Tiempo medio de reparación	19. Seguridad industrial	20. Tipo de control
1. Liviano	1	●	●	●																	
2. Portable	1	●	●	●																	
3. Fácil comunicación con el usuario	4							●			●										
4. Silencioso	3				●																
5. Preciso	5					●	●					●									
6. Fácil uso	4							●			●										
7. Bajo consumo de potencia	2									●											
8. Trabajo continuo	4								●				●								

Requerimientos	Métricas																					
		Importancia	1. Masa total	2. Dimensiones	3. Material	4. Nivel de ruido acústico	5. Precisión	6. Resolución	7. Interfaz	8. Repetibilidad	9. Consumo de potencia	10. Plataformas	11. BackSlash	12. Deriva	13. Refracciones	14. Temperatura	15. Alcance	16. Capacidad de carga	17. Sobre impulso	18. Tiempo medio de reparación	19. Seguridad industrial	20. Tipo de control
9. Fácil mantenimiento	3			●										●						●		
10. Inmunidad a las perturbaciones	4																					●
11. Fácil reparación	3																			●		
12. Fácil adquisición de refracciones	3													●								
13. Resistencia a la temperatura	5														●							
14. Capacidad de carga	4																●					

15. Alcance a la mitad del horno	4															●					
16. Seguridad industrial	5																		●		
17. Estabilidad	4																●				

6.4. ESTUDIO DE LA COMPETENCIA (Benchmarking)

Teniendo ya una primera idea del producto final por parte del equipo de diseño, se buscan equipos similares en el mercado, con los cuales se hace la investigación y la comparación, de igual forma si se tiene acceso directo a uno de estos equipos se puede realizar el método de ingeniería inversa, el cual permite analizar las composiciones de los subsistemas: mecánico, electrónicos, informático y de control para rescatar los diseños más óptimos, esto se realiza mediante un método sistemático de desmontado y es con el fin de comprender el funcionamiento y lograr brindar más calidad y a su vez un producto más exitoso como desarrollo final, esta metodología es de gran ventaja cuando el grupo de desarrollo no posee conocimientos previos sobre el producto que se pretende elaborar, logra proporcionar fundamentos y parámetros de funcionamiento y de diseño con que iniciar el proceso.

6.4.1. Nivel de satisfacción de los clientes. Para optimización del presente diseño se realiza una investigación acerca el grado de satisfacción de las necesidades de los clientes con respecto a los productos de la competencia. Este nivel de satisfacción se presenta mediante una indicación con números de 1 a 5 en donde 5 es la mayor satisfacción por parte de los clientes.

Tabla 6. Satisfacción de los clientes con productos existentes.

Requerimientos	Imp.	Scorbot-Er 4u (Intelitek)	Motoman HP3 (Intelitek)
1. Liviano	1	4	2
2. Portable	1	3	2
3. Fácil comunicación con el usuario	4	4	2
4. Silencioso	3	4	3
5. Preciso	5	---	---
6. Fácil uso	4	4	2
7. Bajo consumo de potencia	2	-	3

8. Trabajo continuo	4	4	4
9. Fácil mantenimiento	3	4	3
10. Inmunidad a las perturbaciones	4	1	3
11. Fácil reparación	3	4	3
12. Fácil adquisición de refracciones	3	2	2
13. Resistencia a la temperatura	5	2	---
14. Capacidad de carga	4	4	5
15. Alcance a la mitad del horno	4	---	---
16. Seguridad industrial	5	3	3
17. Estabilidad	4	---	---

6.4.2. Métricas de la competencia. Una vez se tiene claro la satisfacción de los usuarios con productos de la competencia y habiendo definido las métricas del proceso se puede analizar las relaciones de las métricas con los productos de la competencia, es decir, dar un valor de una medida universal de cómo otros productos cumplen con los requerimientos del proceso.

Tabla 7. Métricas en la competencia

No.	Requerimiento No.	Métrica	Unidad	Imp.	Scorbot-Er 4u(Intelitek)	Motoman HP3 (Intelitek)
1	1,2	Masa total	Kg	1	10.8	37
2	1,2	Dimensiones	mm	1	-	-
3	1,2	Material	Lista	1	---	---
4	4	Nivel de ruido	dB	3	<50	<60
5	5	Precisión	mm	5	---	---
6	5	Resolución	mm	5	---	---
7	3,6	Interfaz	Subjetivo	4	Fácil	Difícil
8	8	Repetibilidad	mm	4	+/- 0.18	+/-0.03
9	7	Consumo de potencia	KVA	2	-	1
10	3,6	Plataformas	Lista	4	Lista	Lista
11	5	BackSlash	mm	5	---	---
12	8	Deriva	mm	4	---	---
13	9,12	Refracciones	Lista	3	---	---
14	13	Temperatura	°C	5	40	-
15	15	Alcance	mm	4	610 en el gripper	1163vertical 701 horizontal
16	14	Capacidad de carga	Kg	4	2.1	3

17	17	Sobre impulso	mm	4	---	---
18	9,11	Tiempo medio de reparación	min	3	40	60
19	16	Seguridad Industrial	Subjetivo	5	buena	Buena
20	17	Tipo de control	Lista	4	*	*

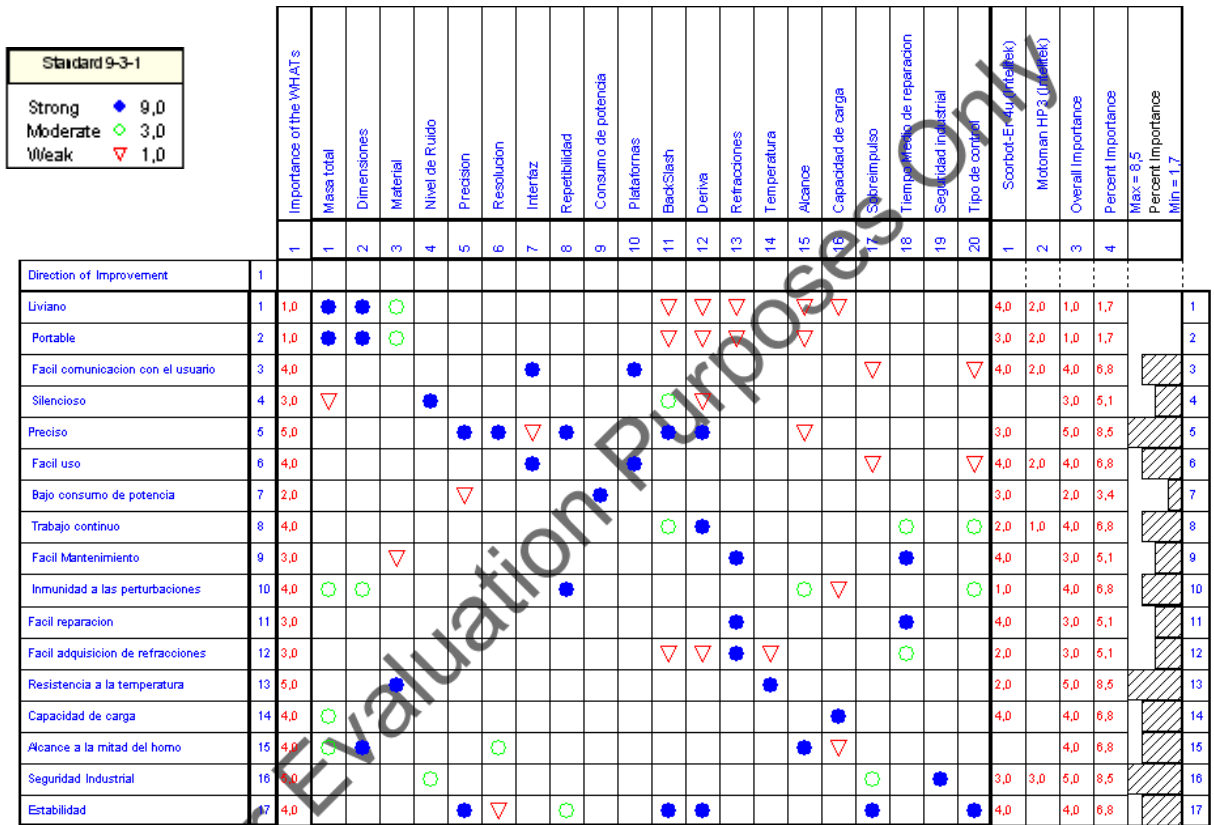
* Manipulador de Secuencia

6.5. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE LA CALIDAD QFD

Este despliegue de esta función de calidad, también conocida por su abreviación en inglés QFD (*Quality Function Deployment*), permite mantener siempre presente al cliente al basarse siempre en los requerimientos del mismo. Se presenta dividida por partes para lograr su mejor entendimiento y mejorar su análisis.

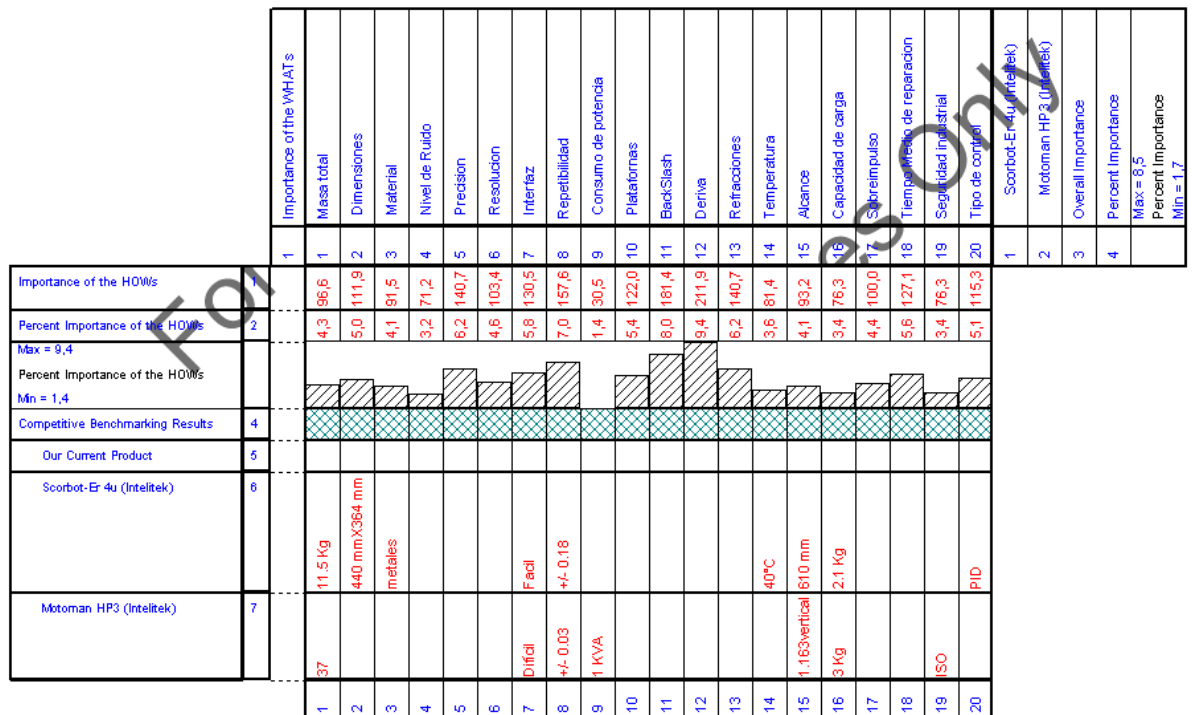
6.5.1. Relación entre métricas, necesidades y competencia. Los "que" y los "cómo". Vale la pena recordar que las necesidades o requerimientos hacen alusión a los QUE, y las métricas de ingeniería a los COMO del proceso, en la Figura 2. Se relacionan estos dos conceptos dando ponderaciones a estas relaciones, círculo relleno: relación fuerte, círculo vacío: relación moderada, triángulo: relación baja, esto se realizó tomando en cuenta a la competencia.

Figura 2. Relación QUE-COMO (Necesidades-Métricas) y con benchmarking



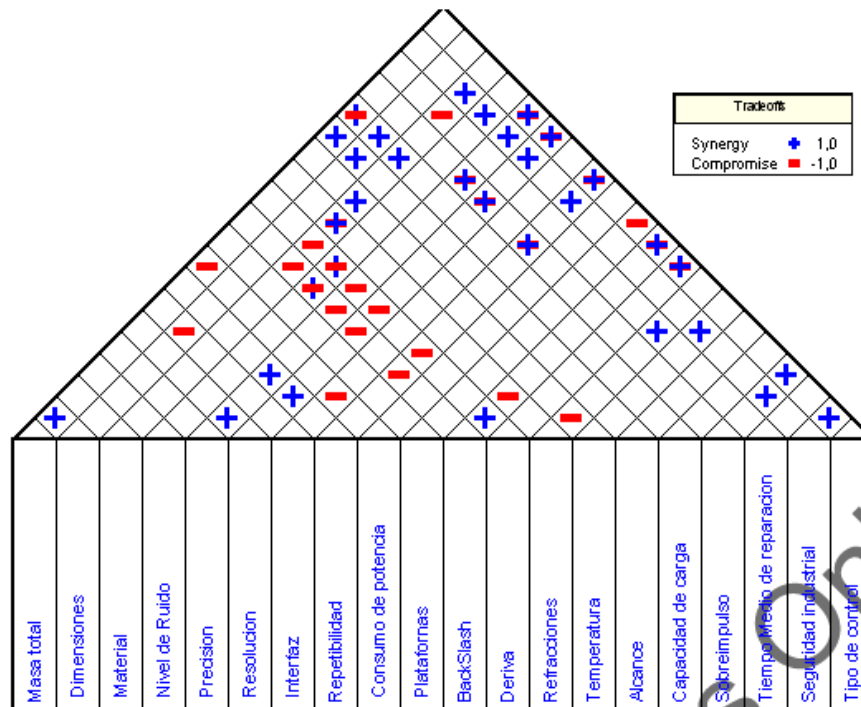
6.5.2. Relaciones de manera porcentual. Los datos arrojados por el despliegue de la función de la calidad, son muy amplios, se toman en cuenta muchos aspectos en la relación de los COMO y la importancia que tiene cada QUE, Métricas – Necesidades, respectivamente. En la Figura 3 se presenta esta relación, de manera porcentual y a su vez presenta la los resultados de la competitividad de productos similares.

Figura 3. Relación entre los COMO (métricas) e importancia de los QUE (requerimientos)



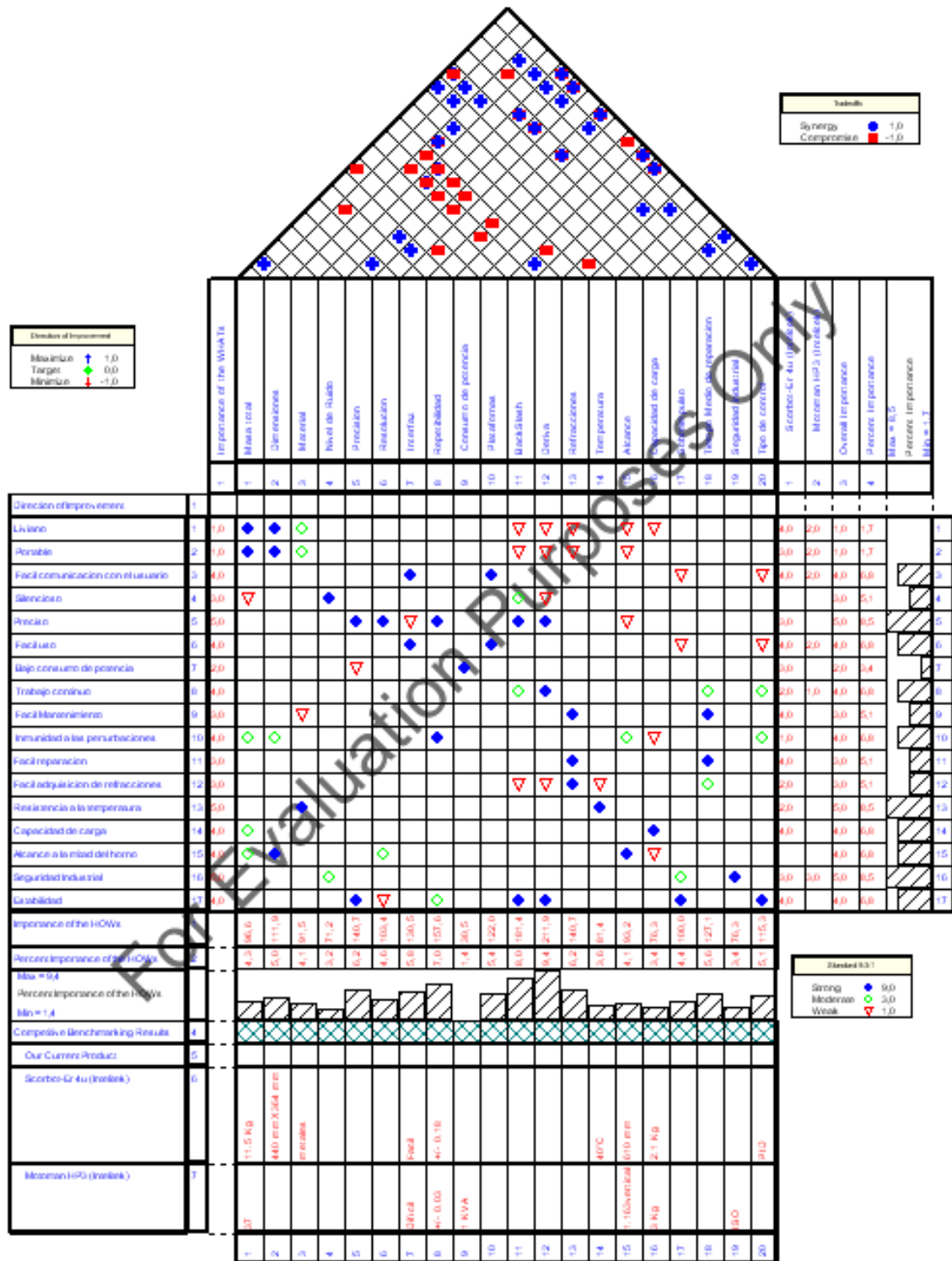
6.5.3. Relación entre las métricas. Como se pudo observar anteriormente hay métricas que poseen relación con más de un requerimiento, dejando entrever una relación entre los requerimientos. De igual forma las métricas poseen una relación entre ellas, el despliegue de la función de calidad permite establecer esas relaciones, en la Figura 4 se pueden observar dichas relaciones, los signos de suma significan que entre esas dos métricas existe una relación de sinergia, en cambio los signos de resta significan que hay una relación que compromete una métrica con respecto a la otra.

Figura 4. Correlación entre métricas



6.5.4. Despliegue de la función de calidad. Ya que se tiene claro todas las partes que conforman el despliegue de la función de la calidad, QFD, en la Figura 5 se muestra este despliegue completo, estas figuras de QFD fueron realizadas con el software Libre *QFDcapture Trial Version*.

Figura 5. Despliegue completo de la función de la calidad QFD



6.6. ESPECIFICACIONES PRELIMINARES

Una vez este listo el despliegue de la función de la calidad, se esta garantizando cierto nivel de calidad en nuestro producto final, partiendo de estas comparaciones con productos similares del mercado podemos fijar valores de especificaciones preliminares para JOSI 2.0. En la Tabla 8 se aprecian lo valores marginales e ideales del brazo robótico para todas las métricas, involucrando de esta manera todos los requerimientos realizados por el cliente.

Tabla 8. Valores marginales e ideales JOSI 2.0

No.	Requerimiento No.	Métrica	Unidad	Imp.	Valor marginal	Valor ideal
1	1,2	Masa total	Kg	1	15-35	27
2	1,2	Dimensiones	mm	1	<250 x 400	200 x 370
3	1,2	Material	Tabla 9	1	Tabla 9	Tabla 9
4	4	Nivel de ruido	dB	3	20-60	40
5	5	Precisión	mm	5	3-7	4
6	5	Resolución	mm	5	6-14	8
7	3,6	Interfaz	Subjetivo	4	Fácil	Fácil
8	8	Repetibilidad	mm	4	<0.08	0.05
9	7	Consumo de potencia	KVA	2	0.5-1.5	1
10	3,6	Plataformas	Lista 1	4	Lista 1	Lista 1
11	5	BackSlash	mm	5	0-5	2
12	8	Deriva	mm	4	---	---
13	9,12	Refracciones	Lista 2	3	Lista 2	Lista 2
14	13	Temperatura	°C	5	>1000	1200
15	15	Alcance	mm	4	145-160	152
16	14	Capacidad de carga	Kg	4	1.5-3	2
17	17	Sobre impulso	mm	4	5-15	7
18	9,11	Tiempo medio de reparación	min	3	20-60	30
19	16	Seguridad Industrial	Subjetivo	5	Seguro	Seguro
20	17	Tipo de control	Lista	4	*	*

* Manipulador de Secuencia

En la métrica numero 3 se hace referencia a la Tabla 9, en ella se muestra características de los materiales de los cuales puede estar compuesto el producto final.

Tabla 9. Materiales

Material	Densidad	Punto de fusión	Observaciones
Aluminio	2700Kg/m ³	>650°C	Resistente a la corrosión y conductor eléctrico
Acero	7850kg/m ³	>1375°C	Corrosivo
Acero inoxidable		>2620°C	Resistente a la corrosión
Fibra de Carbono	1750kg/m ³		Resistente a la corrosión
Madera (Cedro)	635 kg/m ³	-----	Fácil para trabajar con chorro de arena, broca y cepillo de carpintero
Empack	700kg/m ³	110°C	Fácil de trabajar
Fibra de silicato (silicato de alúmina)		1100°C 1260°C	
Hierro	187Kg/m ³	1535°C	
Polycarbonato	1.2/7cm ³	135°C	Para la carcasa
Resina ABS			Para la carcasa

Los valores marginales e ideales de las métricas número 10 y 13 se conforman por listas, estas listas contienen ítems que satisfacen los requerimientos de cliente con los cuales están asociados. La lista 1 está ligada a la métrica numero 10 y la lista 2 a la métrica numero 13.

Lista 1. Plataformas:

Windows XP
Windows Vista
Linux

Lista 2. Refracciones:

Motores DC
Motores DC pasantes
Moto reductores DC

Tornillos

Servomotores

Elementos de transmisión

7. GENERACIÓN DE CONCEPTOS

7.1 CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA

- Descripción del producto:

Brazo robótico que permite automatizar en su totalidad el proceso de tratamiento de materiales de Sol Gel – Dip Coating.

- Necesidades:

En la tabla 10 se recuerdan las necesidades propuestas por el cliente

Tabla 10. Necesidades del cliente

Liviano
Portable
Programación fácil
Fácil comunicación con el usuario
Silencioso
Preciso
Fácil Uso
Bajo consumo de potencia
Soporta altas temperaturas
Trabajo continuo
Fácil mantenimiento
Estable
Fácil reparación
Fácil adquisición de refracciones

- Especificaciones:

Muestras de largo 200 x 30 x 10 mm aprox.

Trabajo en Hornos tubulares con 2" de boca

Peso de menos de 25 Kg

Tiempo máximo dentro del horno 30 minutos

Temperatura máxima 1100°C

7.2 DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL

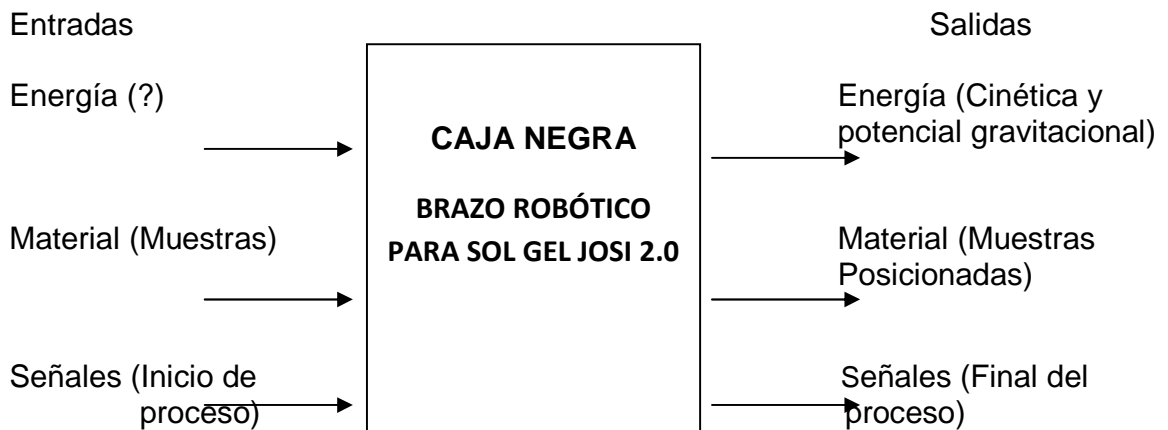
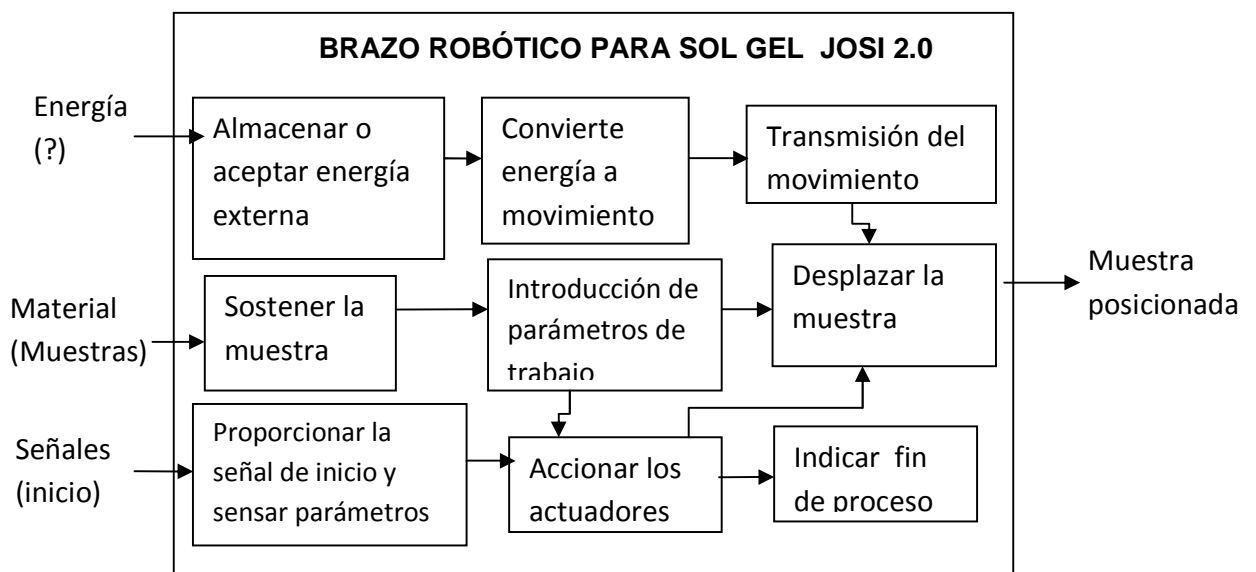


Figura 6. Diagrama de bloques funcionales



7.3 GENERACIÓN DE CONCEPTOS PARA CADA BLOQUE FUNCIONAL

Cada bloque del diagrama de bloques funcionales, es una función, y cada una de estas funciones puede ser resuelta, solucionada o llevada a cabo por diferentes dispositivos, por eso surgen los conceptos para cada bloque, una lista que está compuesta por todos los posibles dispositivos, inicialmente en esta “lluvia de conceptos” se toman todos los existentes sin discriminación alguna, lo que puede llevar a soluciones altamente ingeniosas, exitosas, tecnológicas e innovadoras. El mismo proceso de selección de conceptos que se ilustra posteriormente en el capítulo 8 se encarga de eliminar soluciones no viables y encontrar la más óptima para el diseño.

La principal ventaja de tener esta generación de conceptos en una metodología de diseño concurrente se encuentra en que es posible retomar conceptos en el momento que se considere pertinente sin una gran alteración en el proceso de desarrollo del producto; por ello, a continuación se exponen todas las generaciones de conceptos para cada una de las funciones, es decir, para cada uno de los bloques funcionales del brazo robótico para sol gel.

Generación de conceptos para la subfunción “Almacenar o aceptar energía externa”:

- ✓ Baterías (Litio, níquel, entre otras)
- ✓ Energía AC de toma en la pared
- ✓ Energía solar
- ✓ Energía eólica
- ✓ Energía hidráulica
- ✓ Energía nuclear
- ✓ Potencia humana o animal
- ✓ Adaptador DC

Generación de conceptos para la subfunción “Convertir energía a movimiento”:

- ✓ Motores eléctricos DC + Puente H
- ✓ Motores eléctricos AC
- ✓ Motores Paso a Paso
- ✓ Servomotores
- ✓ Pistones eléctricos (solenoides)
- ✓ Pistones hidráulicos
- ✓ Motores hidráulicos
- ✓ Pistones neumáticos
- ✓ Motores neumáticos

Generación de conceptos para la subfunción “Transmisión del movimiento”:

- ✓ Cadenas metálicas
- ✓ Cadenas Plásticas
- ✓ Cadenas mixtas
- ✓ Correa dentada
- ✓ Correa lisa
- ✓ Engranaje
- ✓ Paralelogramo
- ✓ Cable
- ✓ Tornillo sin fin
- ✓ Cremallera
- ✓ Paralel articulado
- ✓ Directo

Generación de conceptos para la subfunción “Sostener la muestra”:

- ✓ Imán
- ✓ Gripper eléctrico
- ✓ Gripper manual
- ✓ Pinzas de presión
- ✓ Cables
- ✓ Instrumento cóncavo
- ✓ Instrumento con ángulo recto
- ✓ Succionador

Generación de conceptos para la subfunción “Introducción de parámetros de trabajo”:

- ✓ Teclado QWERTY
- ✓ Teclado matricial
- ✓ Switches
- ✓ Teclado especial (Touch Buttons)
- ✓ Pulsadores
- ✓ Palancas
- ✓ Variadores Resistivos
- ✓ Touch Screen

Generación de conceptos para la subfunción “Proporcionar la señal de inicio y sensor parámetros de trabajo”

- ✓ Teclado matricial
- ✓ Sensores infrarrojos

- ✓ Switch
- ✓ Sensor piezoeléctrico
- ✓ Pulsador
- ✓ Teclado QWERTY
- ✓ Cámara
- ✓ Teclado especial (Touch Buttons)
- ✓ Encoders incrementales
- ✓ Encoders absolutos
- ✓ Final de carrera
- ✓ Potenciómetro

Generación de conceptos para la subfunción “Accionar los actuadores”

- ✓ Microcontrolador Atmel
- ✓ Microcontrolador PIC
- ✓ PLC
- ✓ PLD
- ✓ Procesador sencillo
- ✓ Procesador dual core

Generación de conceptos para la subfunción “Desplazar la muestra”

- ✓ Mantas
- ✓ Cerámica
- ✓ Aluminio
- ✓ Acero inoxidable

- ✓ Polímeros
- ✓ Hierro
- ✓ Opción 1 (Ver anexo 1)
- ✓ Opción 2 (Ver anexo 2)
- ✓ Opción 3 (Ver anexo 3)
- ✓ Opción 4 (Ver anexo 4)
- ✓ Opción 5 (Ver anexo 5)
- ✓ Opción 6 (Ver anexo 6)
- ✓ Opción 7 (Ver anexo 7)

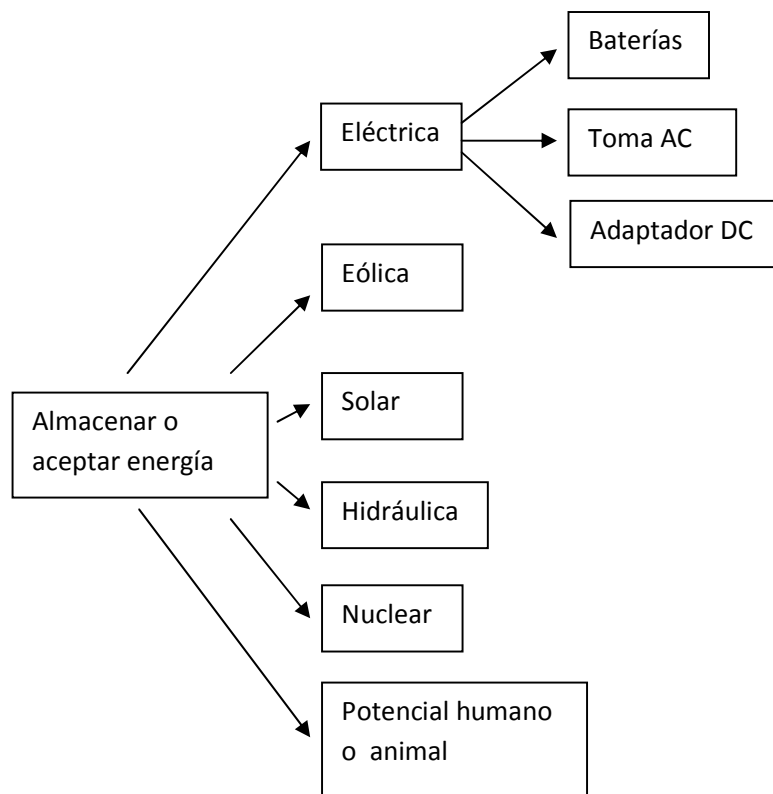
Generación de conceptos para la subfunción “Indicar fin de proceso”

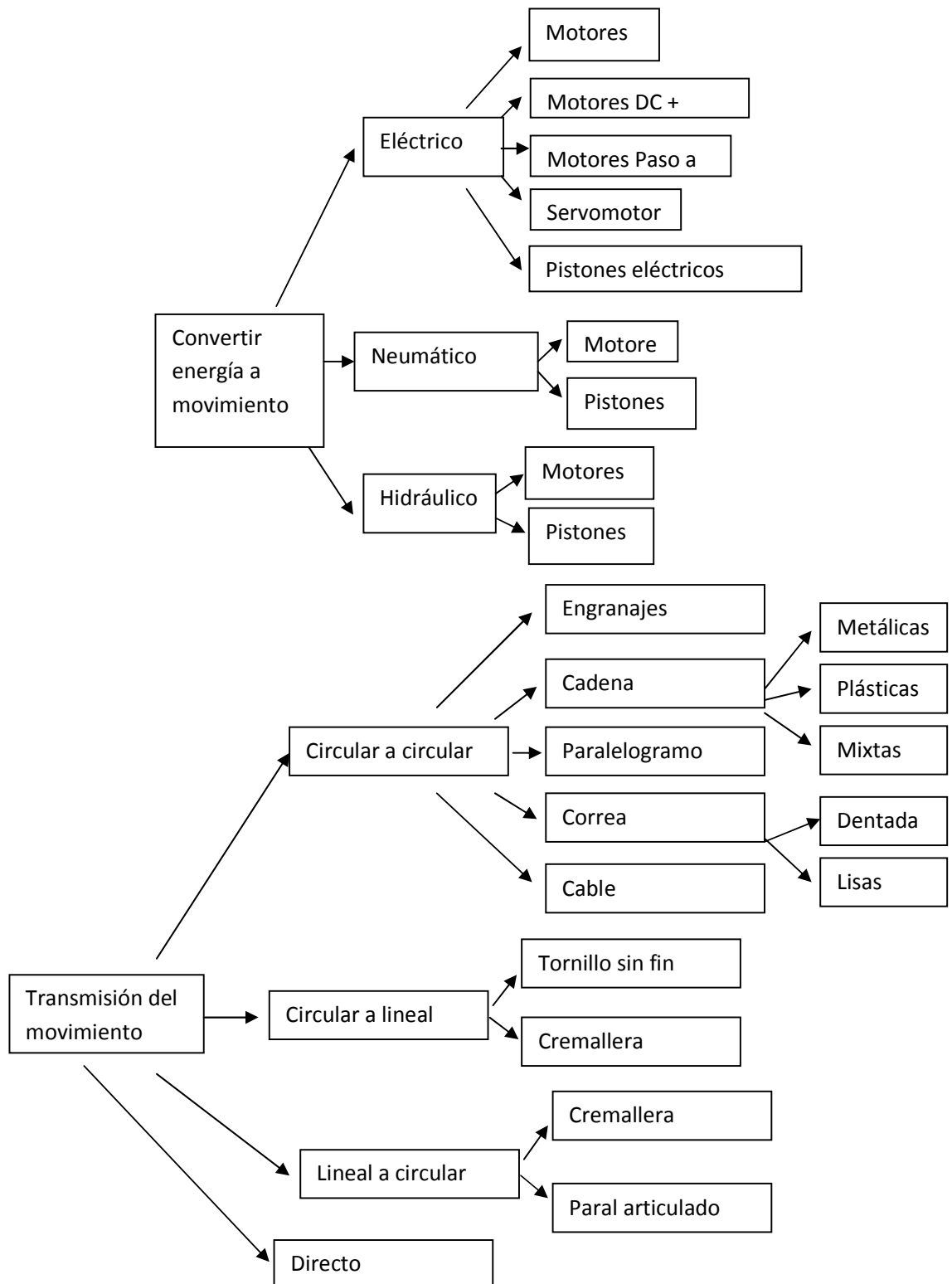
- ✓ LED
- ✓ Pantalla LCD
- ✓ Zumbador
- ✓ Aviso del computador
- ✓ Display
- ✓ Touch Screen

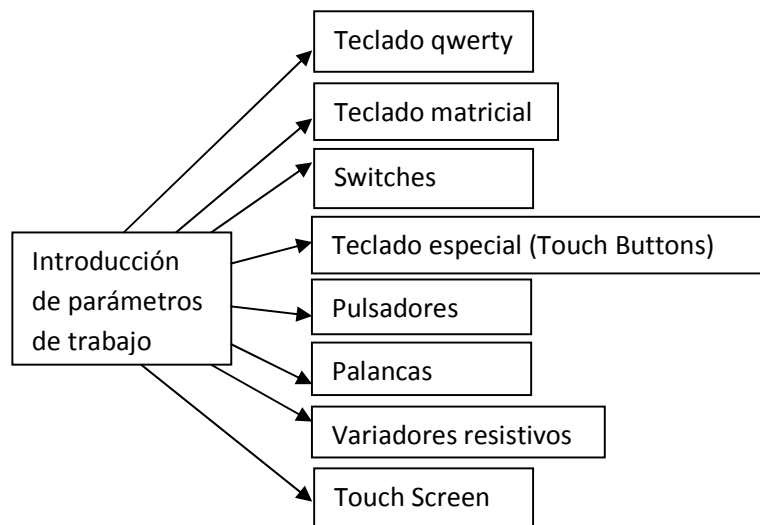
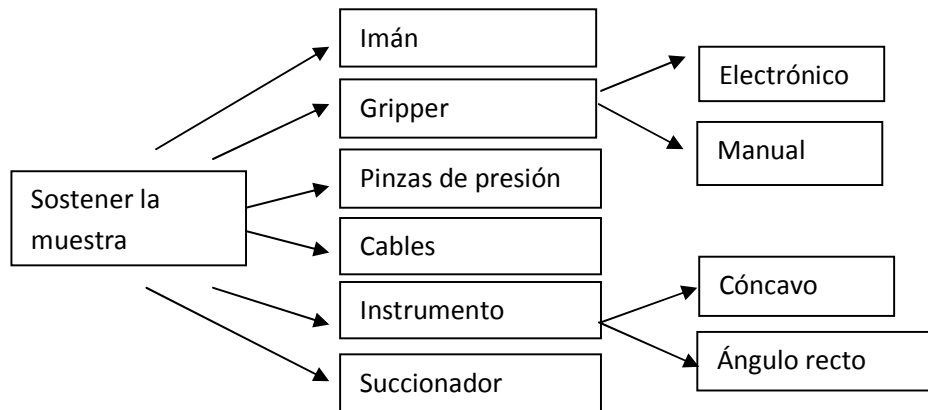
7.4 ÁRBOLES DE CLASIFICACIÓN

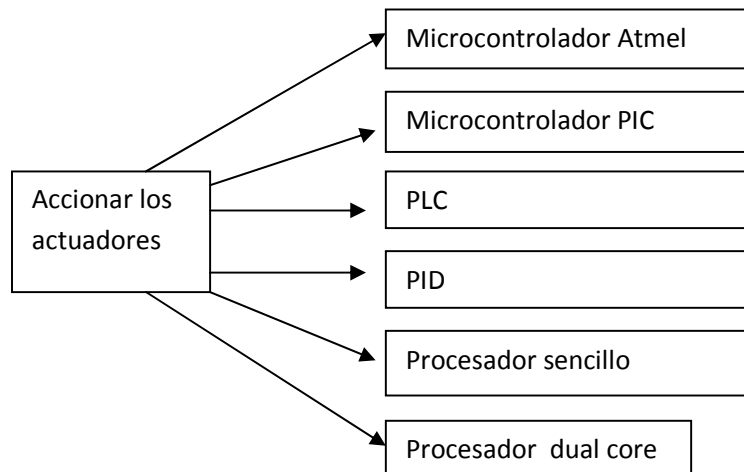
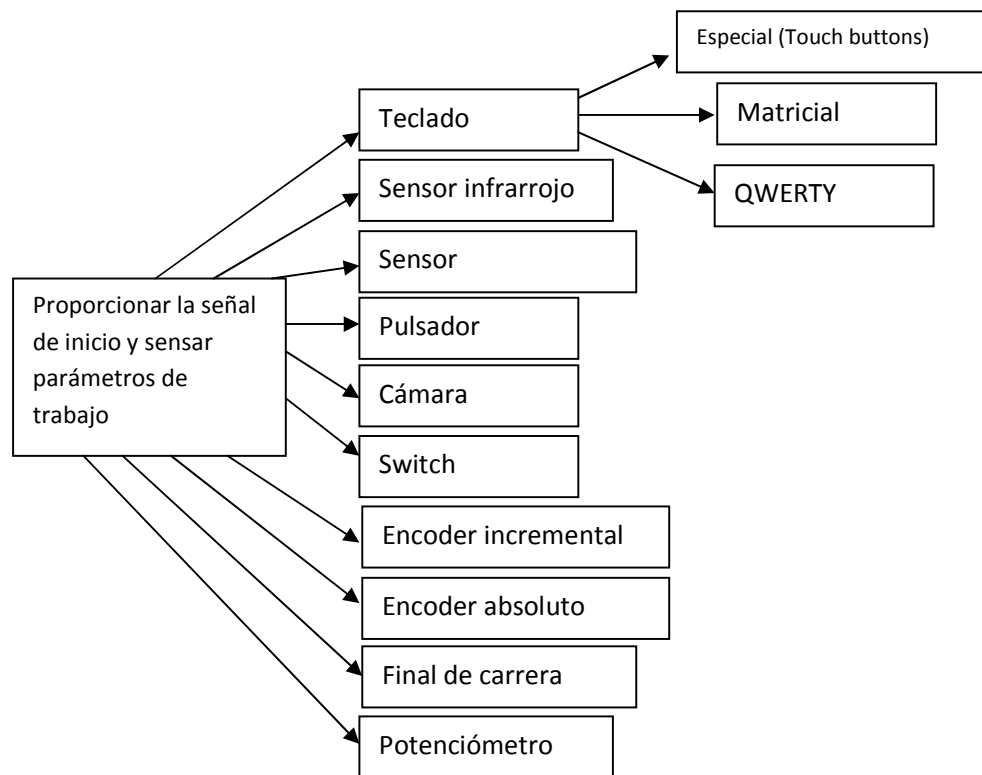
Siguiendo con el proceso de generación de conceptos y entrando un poco a la selección de los mismos, se pasa a expresar los conceptos en árboles los cuales permiten su clasificación según ciertas ramas técnicas, con esto se logra empezar a eliminar conceptos de baja prominencia, así mismo permite identificar diferentes formas de acercarse a la solución del problema, y deja ver si existen fallas en la generación de los conceptos, al encontrar ramas con poca exploración. A

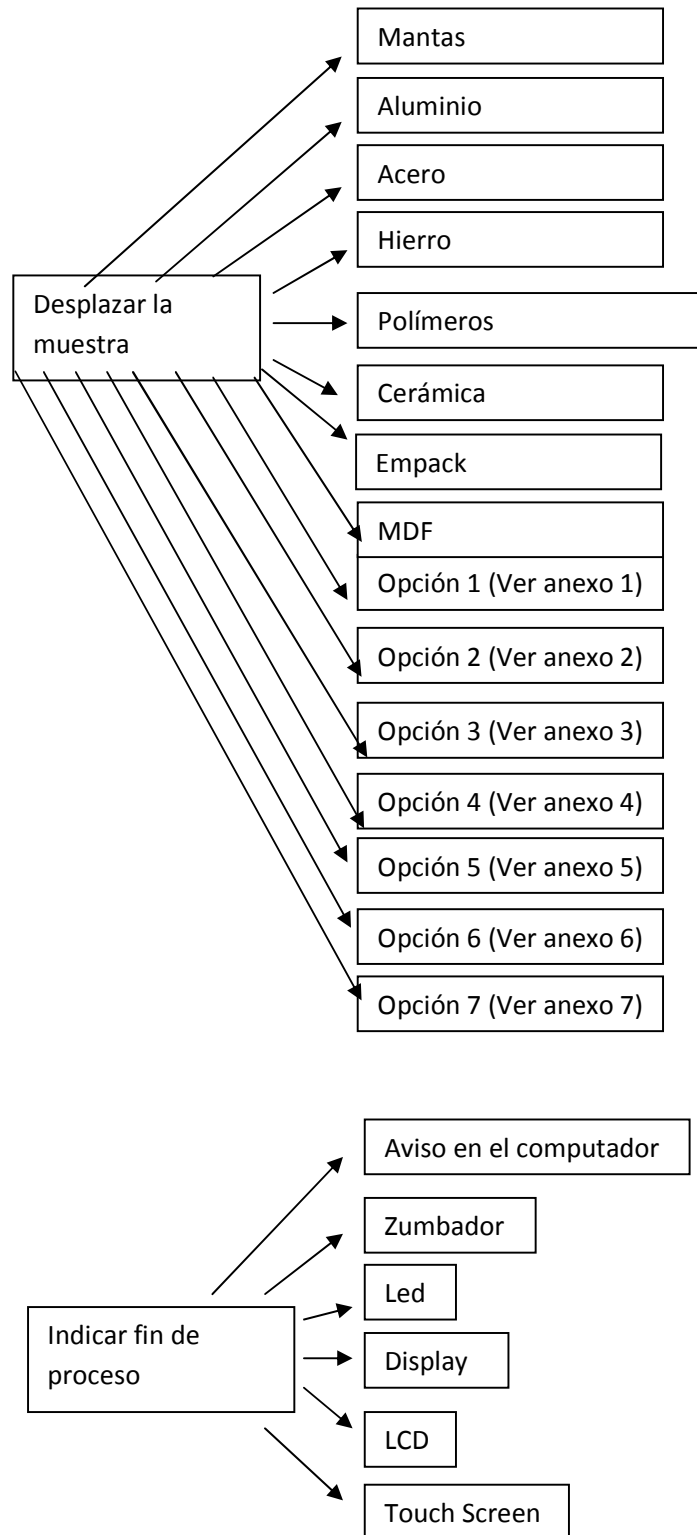
continuación se muestran los árboles de clasificación para todos los conceptos de JOSI 2.0.







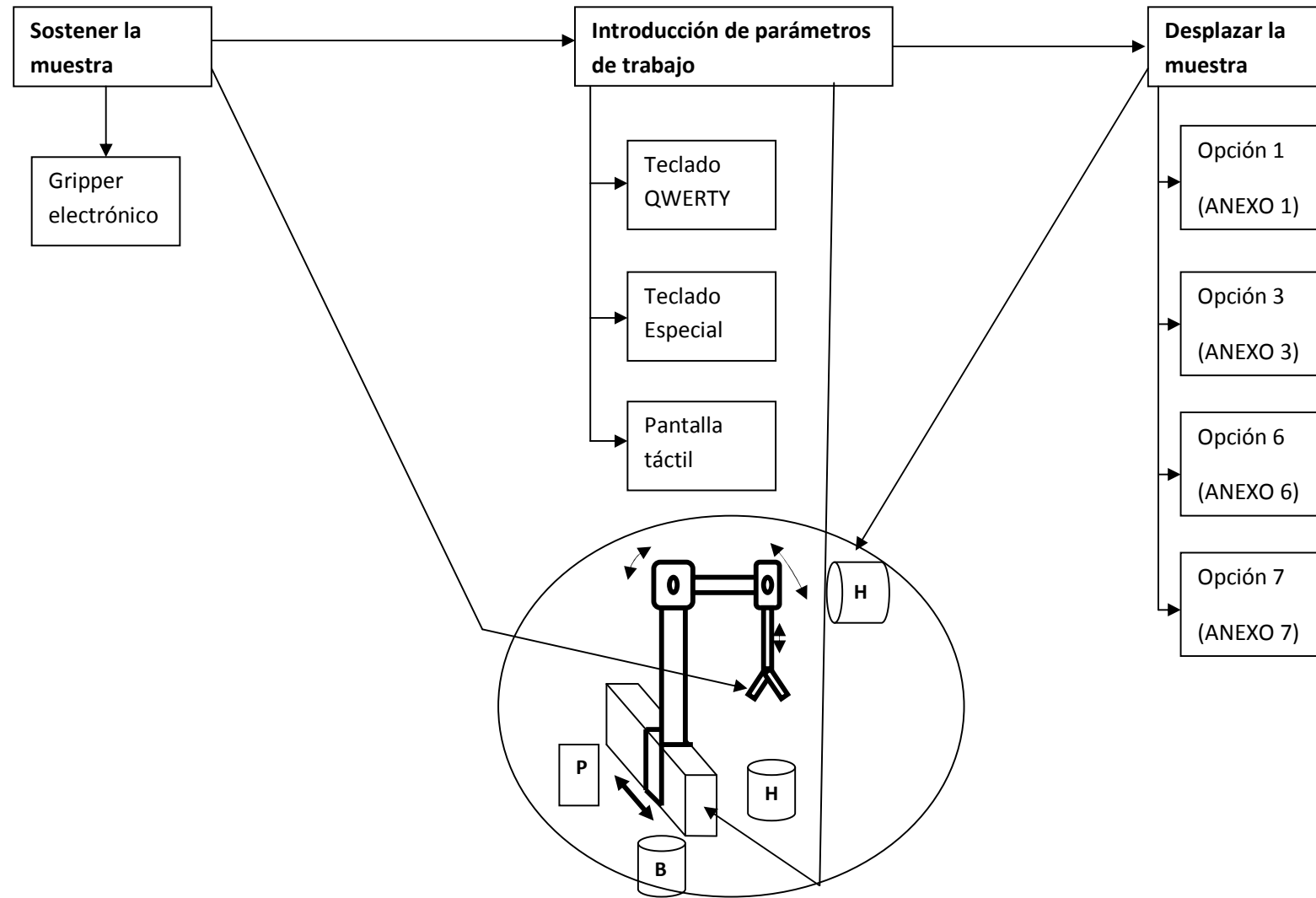




7.5. DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL REFINADA

El refinamiento de la descomposición funcional permite centrarse más en las funciones principales que debe cumplir el brazo robótico para sol gel JOSI 2.0, el conjunto de estas funciones se conoce como la *ruta crítica* del proceso y por medio de este refinamiento se permite tener presente la ubicación de los dispositivos que desempeñaran las tareas principales, en la Figura 7 se muestra esta descomposición, donde P es el alimentador de las placas, B el Becker, y H el horno de altas temperaturas de Sol Gel.

Figura 7. Refinamiento de la descomposición funcional



7.6. COMBINACIÓN DE CONCEPTOS

Ya se obtuvieron los conceptos para cada una de las funciones, ahora es necesario realizar la combinación de estos para lograr encontrar soluciones completas al sistema partiendo de posibles soluciones de combinación para las subfunciones. Es evidente que no todas las combinaciones son realizables, hay conceptos en funciones que sacrifican el uso de otros conceptos en otras funciones. Para el brazo robótico para Sol Gel se van a tener 3 tablas de combinación, una por cada subfunción, las cuales son claramente identificadas en el diagrama de bloques funcionales, aunque todas van a un mismo fin, o una misma función, el cual es dejar posicionar la muestra que se está recubriendo. La primera subfunción es la encargada de la parte de energías, la parte eléctrica/electrónica del brazo robótico. La segunda es la parte que se encarga de recibir la muestra sin procesar. La tercera y última es la encargada de interactuar con el usuario, la cual sensa los parámetros de trabajo e informa ciertos eventos del proceso. Las Tablas 11, 12 y 13 muestran las combinaciones de conceptos del brazo robótico para Sol Gel JOSI 2.0, algunos conceptos no son tomados en cuenta, por el primer método de selección que se emplea el Pasa NO Pasa, que quita elementos poco promisorios para el producto final.

Tabla 11. Primera tabla de combinación de conceptos

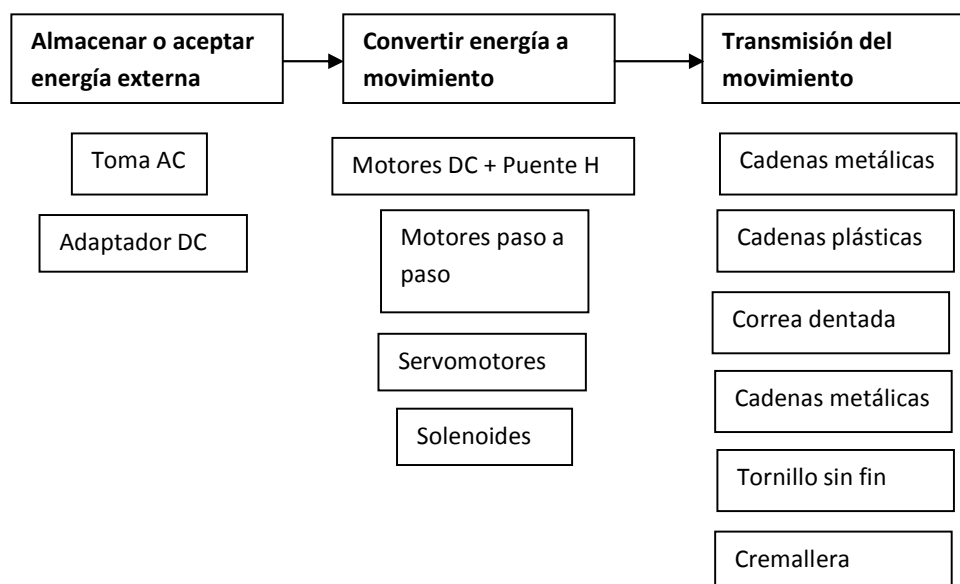


Tabla 12. Segunda tabla de combinación de conceptos

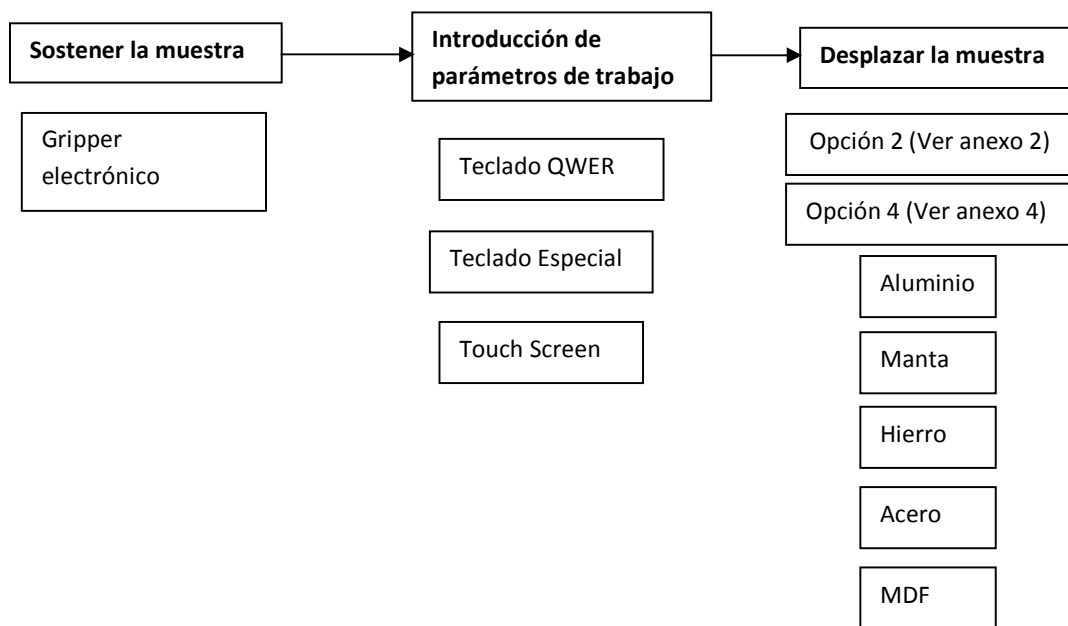
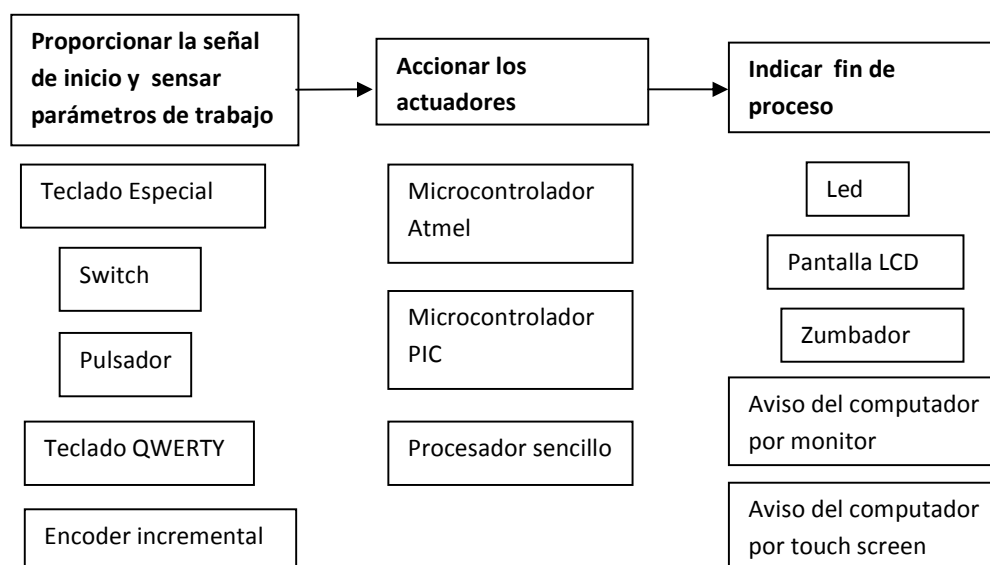


Tabla 13. Tercera tabla de combinación de conceptos



8. SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Antes de poder obtener los ocho conceptos que fueron sometidos a la matriz de tamizaje fue necesario elaborar varios “pasa no pasa” los cuales se pretenden explicar a continuación:

En la función de almacenar o aceptar energía se generaron inicialmente ocho conceptos de los cuales se selecciono tan solo uno, Toma AC, las baterías fueron desechadas teniendo en cuenta los requerimientos del cliente dentro de los cuales no estaba incluido el que el dispositivo debe trabajar en ausencia de energía eléctrica y debido a que es un producto que estará ubicado en un laboratorio tendrá un toma eléctrico con corriente alterna cerca; el adaptador es una buena opción pero por preferencias grupales se decidió que es mejor elaborarlo por diseño para evitar posibles fallas por productos de terceros. Las energías solar, eólica e hidráulica exigen la permanencia de sol, viento y/o agua, elementos que los diseñadores no pueden garantizar y a pesar de que existen los acumuladores el producto quedará dentro de un sótano se necesita una adecuación del entorno costosa. La energía nuclear no es un tipo de energía normalmente muy utilizada en Colombia por la necesidad de trabajar con plutonio, uranio, entre otros. Por último se contó con la energía obtenida de la potencia humana o animal, pero esta no permite observar una automatización del proceso directa.

En la función de convertir energía a movimiento se toman en primera instancia actuadores accionados por las 3 diferentes fuentes de energía, los eléctricos, los neumáticos y los hidráulicos, descartando los últimos dos grupos debido a su grandes costos y alto requerimiento de infraestructura como compresores y/o motobombas, de igual forma estos sistemas están sobredimensionados para el propósito, su exigencia de mantenimiento y su dificultad para el control debido a que están sujetos a la compresibilidad de los fluidos; Por eso pasaron los actuadores de tipo eléctricos, los motores AC son de un gran torque, pero así mismo de gran costo y poseen mucha dificultad para variar su velocidad, los servomotores por el contrario son fáciles de controlar pero no poseen un torque aceptable para esta función, motores DC con alimentación de un Puente H pasan y son tenidos en consideración, al igual que los motores paso a paso y los solenoides.

En la función de transmisión del movimiento se tuvo en cuenta la morfología de los robots seleccionada en la función de desplazar la muestra, es esta selección que será explicada más adelante quedaron la opción 2 (VER ANEXO 2) y la opción 4 (VER ANEXO 4), la primera basada en un robot cartesiano y la segunda en un robot cilíndrico, por esto se decidió desechar todos los elementos que permitían realizar una transmisión circular a circular, pues se podría colocar el motor directo y así evitar posibles errores mecánicos, para realizar la transmisión de circular a lineal se conservaron ambos conceptos, cremallera y tornillo sin fin, por ser viables.

La función sobre la introducción de parámetros de trabajo presenta ocho conceptos, el teclado QWERTY fue desechado debido a que no se necesitó el alfabeto para que el usuario introduzca los datos necesarios, el touch screen es un dispositivo que a pesar de que permite una interfaz un poco más amigable sería una inversión costosa sin necesidad fundamental, el teclado matricial aunque es una buena opción se observó que elaborando un teclado especial podemos introducir botones que permitan establecer una relación amigable con el usuario y permitir el uso más intuitivamente. Los pulsadores, switches y palancas muestran complejidad en el momento de introducir los datos y los variadores resistivos pueden resultar imprecisos.

Para la función de proporcionar la señal de inicio y sensor los parámetros de trabajo se obtuvo por trabajar con el mismo concepto con el que se introducen los parámetros de trabajo para no sobrecargar el diseño ya que con un teclado se logra el objetivo, para sensor los parámetros de trabajo se escogió el encoder incremental por ser más económico que el encoder absoluto, más preciso que un potenciómetro y puede dar medidas intermedias, factor que lo diferencia de los sensores final de carrera.

La función de sostener la muestra contempla inicialmente diferentes soluciones, en el pasa no pasa se descartan todos menos uno, la posibilidad de manejar un imán hace que la muestra tenga una parte metálica lo cual no siempre se cumplirá, las pinzas a presión podrían fácilmente dañar muestras de materiales delicados como vidrios, cerámicas o vitro-cerámicas, para la utilización de cables la muestra debería tener perforaciones o puntos de amarre para dichos cables, un succionador requiere que la muestra tenga un lado que empalme completamente con el sino la pieza caería, además requiere infraestructura neumática, instrumentos tanto cóncavos como de ángulo recto fueron descartados debido a que estos entrarían con una gran área de contacto con la muestra y la

cristalización del recubrimiento no sería homogénea, dejando así los grippers tanto eléctricos como manuales, el grupo de trabajo decide que como innovación tecnológica y en busca de la automatización el gripper eléctrico pasa como único concepto, el diseño de este gripper puede ser visto en la sección de diseño detallado del brazo robótico.

La función de desplazar la muestra contiene los conceptos de materiales a utilizar para el esqueleto, la carcasa y la morfología del robot; para la selección de la morfología se tuvo en cuenta la posibilidad del horno en el cual debe introducirse el brazo de colocarse verticalmente lo que permite realizar un diseño del brazo robótico de tan solo 2 grados de libertad, el hecho de que el dispositivo permanezca verticalmente dentro del horno permite que la placa a revestir reciba el calor uniformemente por todos sus lados y nos da como un factor extra la posibilidad de cálculos más sencillos; los polímeros presenta puntos de fusión muy bajos en comparación con los requeridos para este producto, el material mejor calificado es el aluminio por su bajo peso para la estructura, los acoples serán elaborados en acero, debido a que el aluminio es un material muy blando y no es recomendado para realizar rosca ya que esta se desgasta con mayor rapidez que si fuera elaborada en acero, ambos estarán recubiertos con unas mantas que soportan y aíslan hasta 1100°C en trabajo continuo.

La función de accionar los actuadores cuenta principalmente con 6 conceptos, de los cuales no pasan la selección previa los siguientes: procesador Dual Core, debido a su sobredimensionamiento, para la función al igual que el PLC y su alto costo en comparación con otros conceptos, PLD solo maneja circuitos digitales lo que nos limita niveles de voltaje y corriente, dejando para el posterior estudio los microcontrolador PIC, Atmel y el procesador sencillo, ganando el PIC debido a dos aspectos fundamentales: el manejo de entradas análogas y el PWM incluido para el accionamiento de los actuadores.

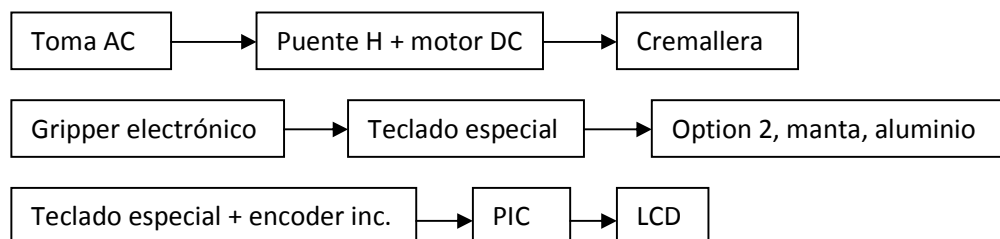
Para la función indicar el fin del proceso se tuvo en cuenta la utilización del PIC para accionar los actuadores y el no uso de un teclado QWERTY lo que dejaba sin fundamentos la utilización de un computador para avisar cuando el proceso este terminado, además un computador puede limitar el requerimiento de portabilidad, se determino que la mejor opción sería un LCD puesto que con este es suficiente para que el usuario introduzca los datos y tenga clara visualización del proceso, y por este mismo se le puede dar a conocer que el proceso ha terminado, el zumbador se descarto puesto que un ruido no es muy agradable en un sitio de trabajo, un display seria redundante teniendo un LCD y un touch screen una

inversión costosa sin necesidad fundamentada, el LED se desecho en un principio pero se retomo en el momento de evaluar los conceptos, puesto que es importante un aviso visual llamativo para informar que el proceso ha terminado.

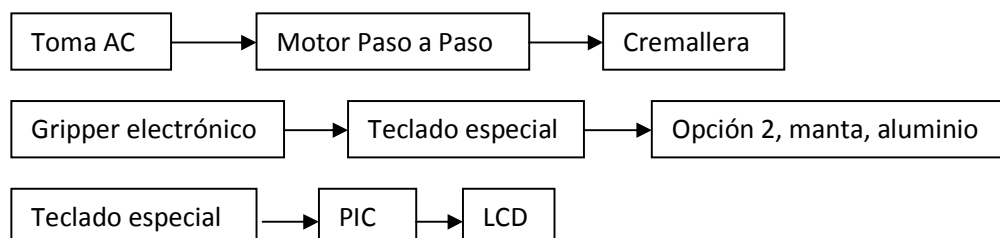
Casi desde el mismo momento que se realiza la generación empieza simultáneamente el proceso de selección; teniendo en cuenta las 3 tablas de combinación de conceptos se tienen los diferentes conceptos de los cuales se deben seleccionar uno, haciendo uso de los métodos como el tamizaje. Es importante recordar que llegando a esta etapa ya se ha realizada un proceso de Pasa NO Pasa para eliminar conceptos que no llegarían a funcionar bajo ninguna circunstancia.

A continuación se ilustran y enumeran los diferentes conceptos, los cuales serán sometidos a los métodos de selección más rigurosos.

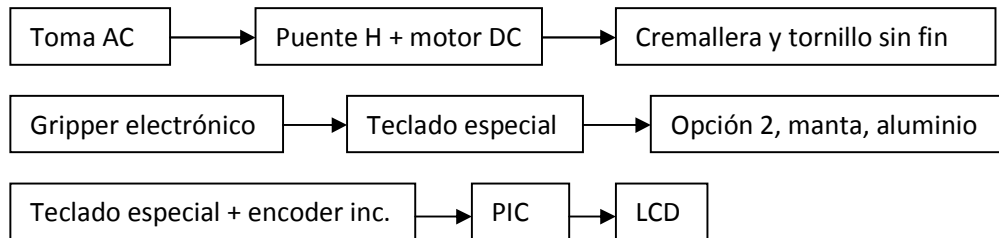
1.



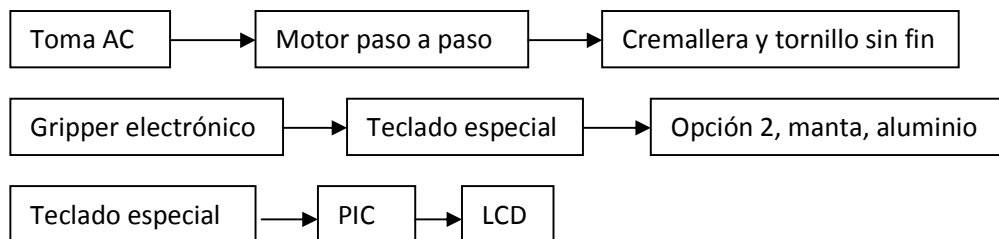
2.



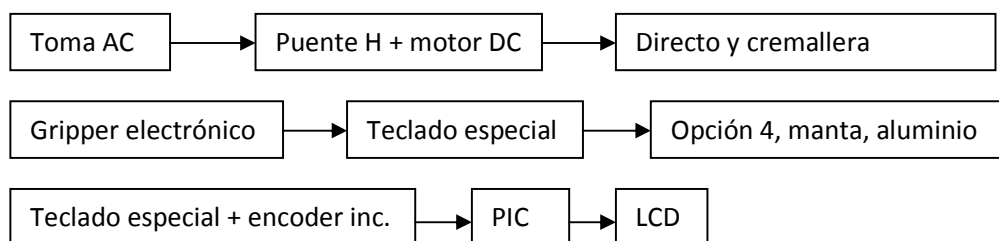
3.



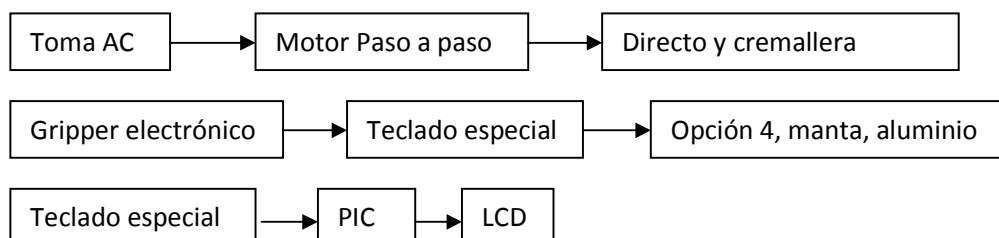
4.



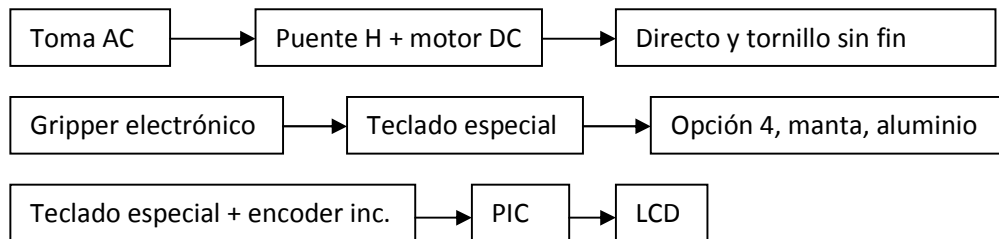
5.



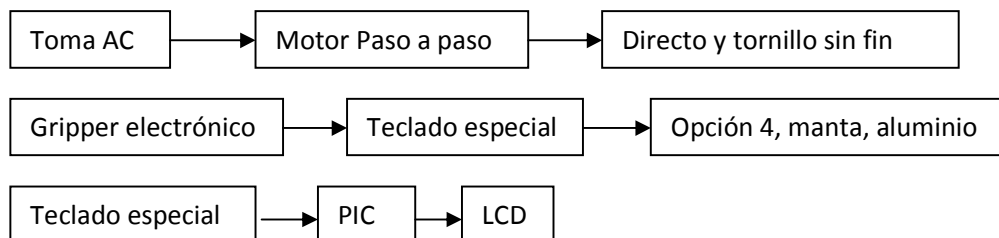
6.



7.



8.



8.1 PROCESO TAMIZAJE

Una vez están definidos en ramas los conceptos, se pasa a la matriz de tamizaje como método más riguroso de selección, en esta se evalúan algunas características de todos los conceptos y partiendo de esta evaluación se selecciona el mas optimo, este proceso se ilustra en la Tabla 14.

Tabla 14. Matriz de Tamizaje

Conceptos \ Criterios	1	2	3	4	5	6	7	8 (Ref.)
Preciso	-	-	-	-	-	-	0	0
Fácil uso	-	-	-	-	0	0	0	0
Fácil comunicación con el usuario	0	0	0	0	0	0	0	0

Portabilidad	-	-	-	-	0	0	0	0
Trabajo continuo	0	0	0	0	0	0	0	0
Resistencia a la temperatura	0	0	0	0	0	0	0	0
Estabilidad (Control)	-	-	-	-	0	0	+	0
Positivo	0	0	0	0	0	0	1	----- --
Igual	3	3	3	3	6	6	7	----- -
Negativo	4	4	4	4	1	1	0	----- -
Total	-4	-4	-4	-4	-1	-1	1	----- -
Orden	8	7	6	5	4	3	2	1
¿Continua?	No	No	No	No	No	No	Si	Si

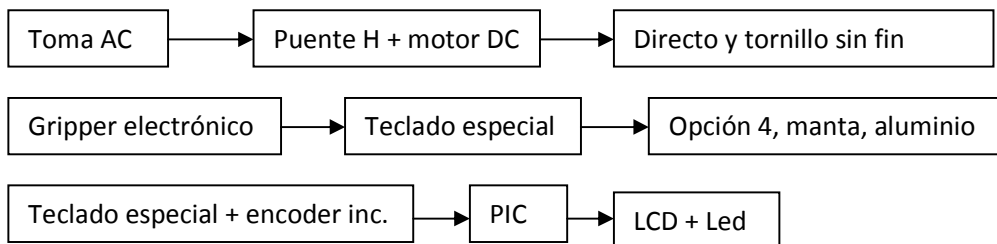
Para este proceso se realizan comparaciones de todos los conceptos contra uno mismo, este concepto se selecciona partiendo del favorito para el equipo de diseño, con el fin de debatir las características por las cuales podría ser tomado como el mejor en un principio. Este concepto es el Numero 8.

Como resultado de esta matriz de tamizaje se tiene los conceptos 7 y 8 se acercan mucho en la comparación por esto se procede a un siguiente nivel de selección.

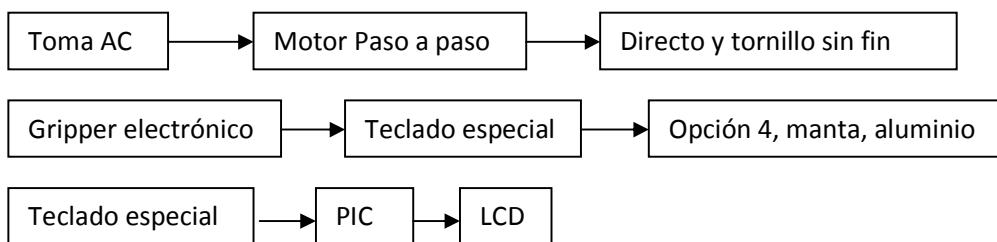
8.2 EVALUACION DE CONCEPTOS

Este proceso se centra en enfrentar los dos conceptos que pasaron el proceso de tamizaje. Antes de entrar en la evaluación el concepto 7 es mejorado con un LED como indicador, buscando mejorar la comunicación con el usuario, quedando de esta manera los conceptos a competir:

Concepto 7+.



Concepto 8.



Una vez se tienen las nuevas características de los conceptos, pasamos a la evaluación de conceptos mostrada en la Tabla 15

Tabla 15. Matriz de evaluación de conceptos.

Criterio	Ponderación %	Concepto 7+		Concepto 8	
		Nota	Criterio Ponderado	Nota	Criterio Ponderado
Preciso	25%	5	1.25	4.5	1.13
Fácil Uso	5%	4	0.2	4	0.2

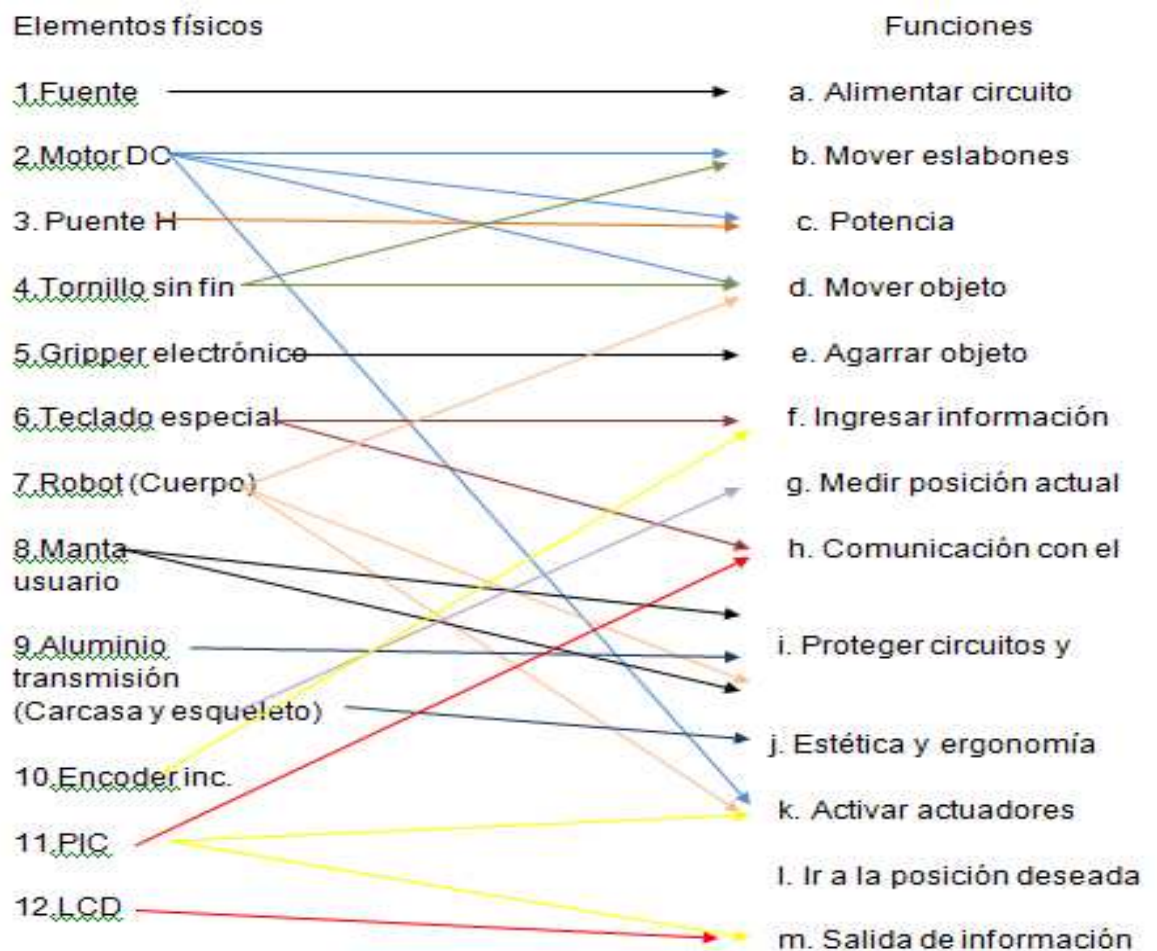
Fácil comunicación con el usuario	5%	4	0.2	4	0.2
Portabilidad	5%	3.5	0.18	3.8	0.19
Trabajo continuo	20%	3	0.6	3	0.6
Resistencia a la temperatura	25%	4	1	4	1
Estabilidad (Control)	15%	5	0.75	4	0.6
	Total		4.18		3.92
	Orden		1		2
	¿Continúa?		Desarrollar		No

El ganador es el concepto 7. Este será de ahora en adelante el objeto de estudio y será el diseño a desarrollar.

9. ARQUITECTURA DE JOSI 2.0

En la tercer etapa del proceso de desarrollo de productos usando la técnica de diseño concurrente, el diseño a nivel sistema, se encuentra la arquitectura, la cual se encarga de definir los chunks, estos son arreglos de elementos funcionales en conjuntos físicos, es decir, la relación que existen entre un conjunto de elementos físicos de JOSI 2.0 y las funciones que estos desempeñan, es decir se hacen las descomposición de decisiones, a continuación en la Figura 8 se ilustra estas relaciones.

Figura 8. Relaciones elementos físicos-funciones JOSI 2.0.



Resumen de las relaciones:

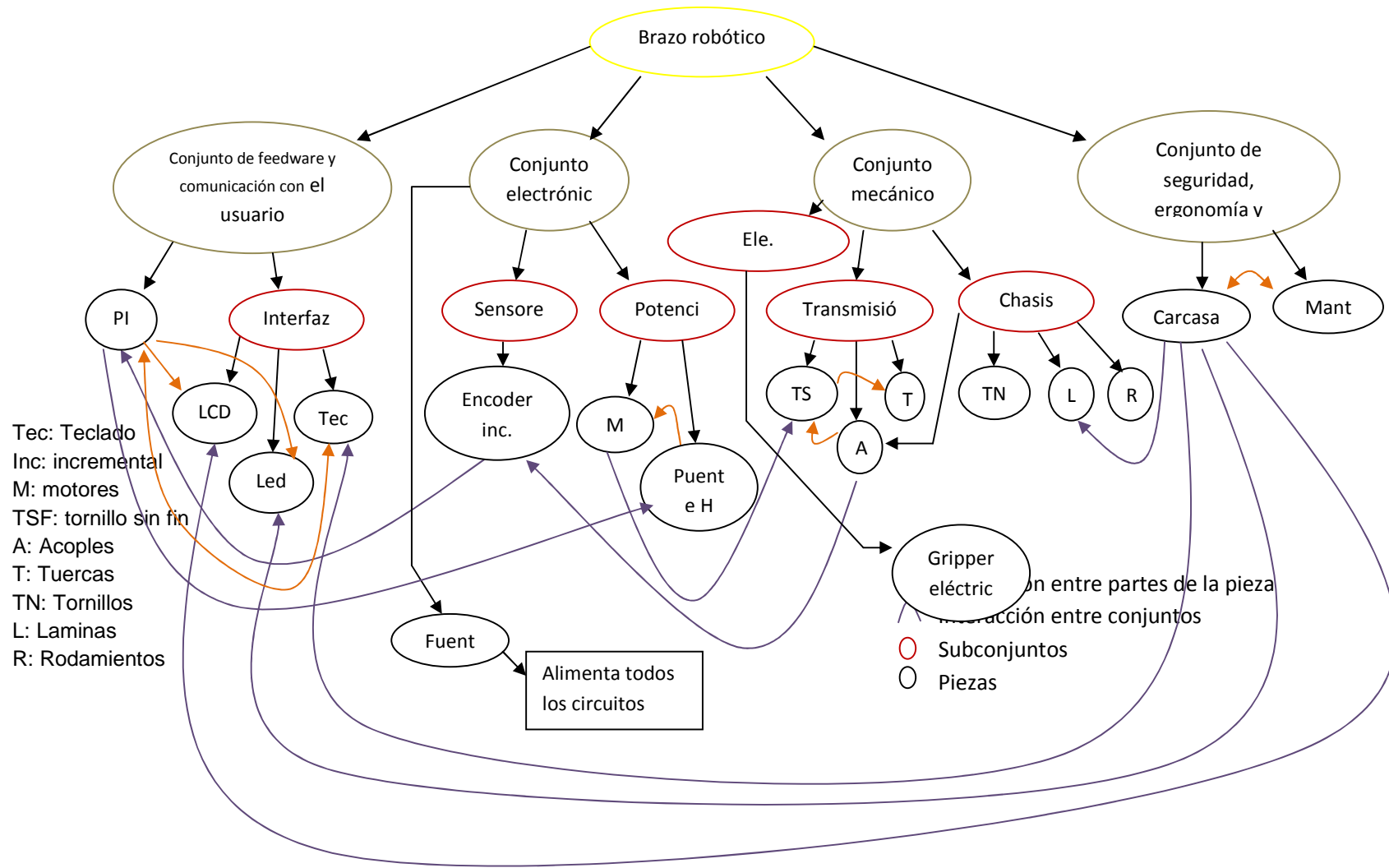
- 1. → a
- 2. → b, c, d, l
- 3. → c
- 4. → b, d
- 5. → e
- 6. → f, h
- 7. → d, j, l
- 8. → i, j
- 9. → i, j
- 10. → g
- 11. → f, k, m
- 12. → h, m

Partiendo de estas relaciones expuestas en la Figura 8 se puede decir que los elementos funcionales son implementados por distintos conjuntos de elementos físicos o chunks. Lo que deja prever una arquitectura Integral del producto JOSI 2.0.

9.1. DESCOMPOSICIÓN + INTERACCIONES

Para lograr analizar con mayor profundidad la arquitectura con la cual esta propuesto este brazo robótico para Sol Gel JOSI 2.0 se observan las interacciones que nacen a partir de la descomposición de los conjuntos, en sistemas, subsistemas y componentes, tal como se puede apreciar en la Figura 9 de la próxima pagina.

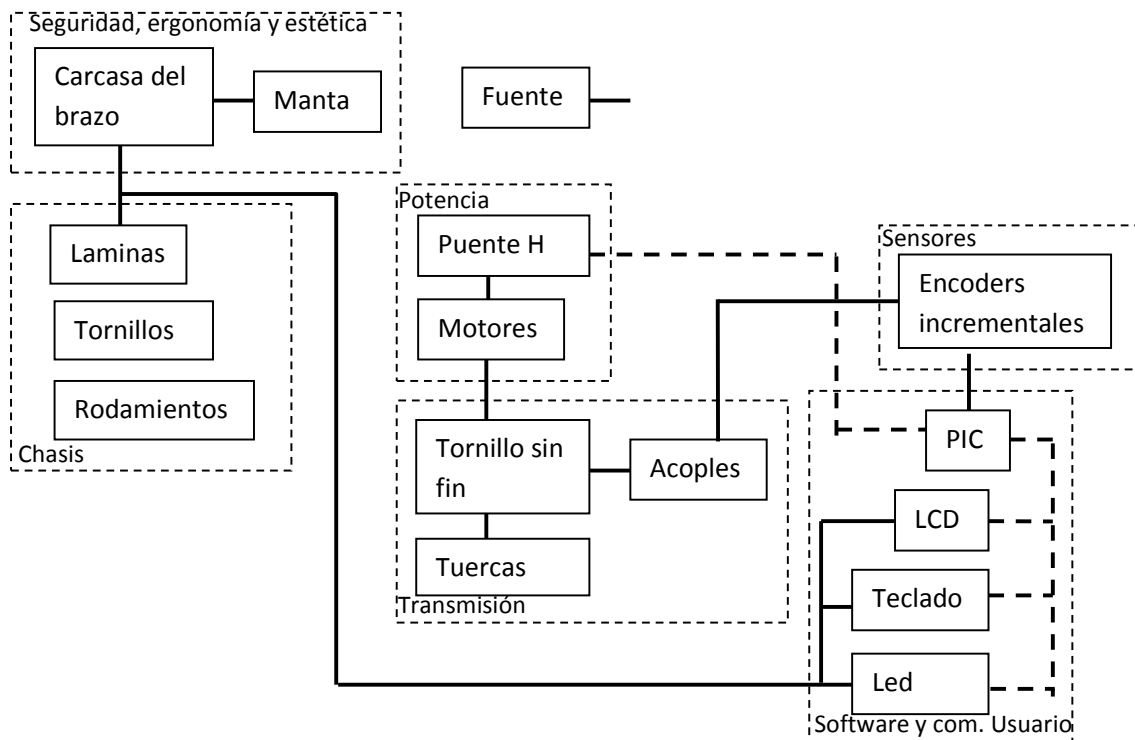
Figura 9. Descomposición + Interacciones.



9.2. ESQUEMA DEL PRODUCTO

En el establecimiento de la arquitectura es necesario crear los clústers de elementos, así se logra apreciar cómo se presenta el compartimiento de las funciones del brazo robótico. En la figura 10 se muestra el esquema del producto para JOSI 2.0.

Figura 10. Esquema del Producto.

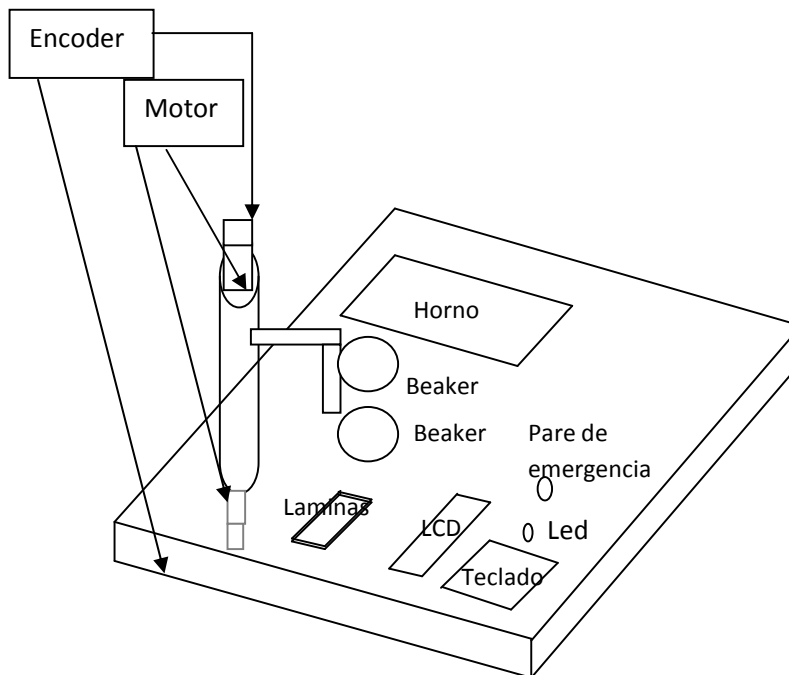


— Flujo de fuerza o energía
 - - - Flujo de señales o datos

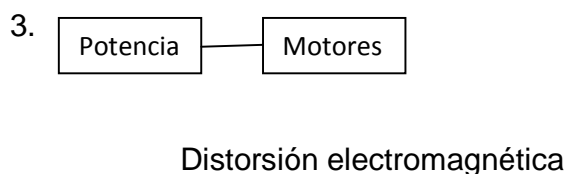
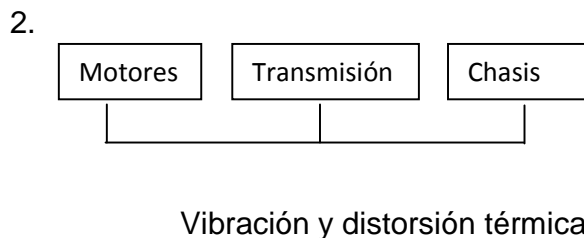
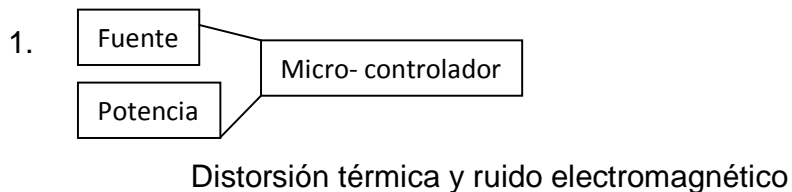
9.3. DISTRIBUCIÓN GEOMETRICA

La distribución geométrica es una herramienta que permite realizar el análisis de la factibilidad de la posición de los conjuntos en el espacio, y si es posible realizar mejoras en la agrupación y ubicación de estos, y con esta distribución geométrica se analizarán posteriormente las interacciones de los elementos. A continuación, se puede apreciar la distribución geométrica de JOSI 2.0 en la Figura 11.

Figura 11. Distribución geométrica JOSI 2.0.



9.4 INTERACCIONES INCIDENTALES



La fuente de alimentación y el circuito de potencia son dos conjuntos de elementos físicos que usualmente disipan energía en forma de calor, debido a que el calor puede llegar a ser excesivo el microcontrolador puede presentar fallas, es por esto que son necesarios los disipadores de calor, estos elementos son metálicos, aprovechando la conductividad térmica de los metales, los disipadores aumentan el área del elemento que se encuentra a alta temperatura permitiendo así hacer más fácil y rápido la transferencia de calor del dispositivo al ambiente; en ocasiones a pesar de que los disipadores ayudan el calor es tanto que el microcontrolador se puede ver afectado, es por esto que también se deben alejar las plaquetas que contienen la fuente y la etapa de potencia de la que contiene el circuito del microcontrolador y la comunicación con el usuario. El ruido electromagnético es disminuido utilizando filtros pues los filtros son una ayuda muy importante para eliminar señales no deseadas que puedan llegar a afectar al microcontrolador y/o alguno de los elementos de comunicación con el usuario. Es

importante también recordar que los cables por donde viaje corriente alterna no deben estar muy cercanos a aquellos cables por donde viajes datos o niveles lógicos.

Los motores son los encargados de producir los movimientos del brazo robótico, estos movimientos son llevados a los ejecutores por medio de sistemas de transmisión y como los motores están en permanente contacto con el chasis; los motores al realizar el movimiento pueden crear vibraciones, para evitar y contrarrestar estos movimientos indeseados se utilizan rodamientos para eliminar las fuerzas realizadas por los elementos de transmisión al chasis, los rodamientos permiten realizar movimientos suaves, también se debe procurar acciones de control no muy bruscas para mantener en estabilidad física al brazo, el diseño de la estructura del chasis debe estar también dispuesta para amortiguar las vibraciones y disminuir las consecuencias de estas en el correcto funcionamiento del brazo robótico pues es necesario tener en cuenta que este brazo trabajara con elementos frágiles y delicados.

Los motores dan lugar a una distorsión electromagnética que afecta directamente al sistema de potencia, para evitar que esta distorsión cause daños se debe colocar a los motores diodos clamp que se encargan de eliminar aquellas señales que no deben llegar al sistema de potencia, también se utilizan condensadores, es decir, filtros para como su nombre lo indica filtrar las señales que hayan alcanzado a pasar al sistema para que no alcancen a causar grandes estragos en la operación ejercida por el brazo.

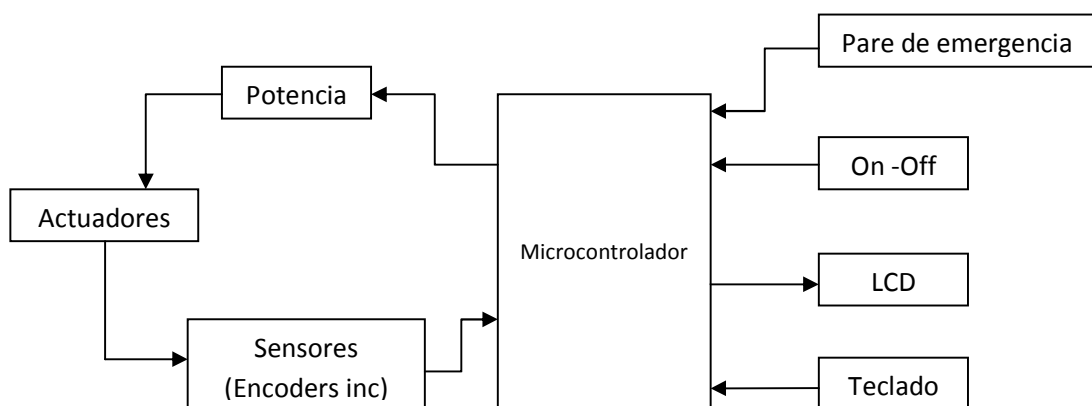
10. DISEÑO DETALLADO

En esta etapa del diseño, se realiza una caracterización de todos los subsistemas que interfieren en el producto mecatrónico, se consignan los cálculos realizados para la obtención del producto, se muestran los diagramas e isométricos realizados en diferentes programas tipo CAD de tal forma que se esclarezcan las especificaciones y requerimientos necesarios para la elaboración del brazo robótico físicamente.

10.1. SISTEMA ELECTRÓNICO

El modulo electrónico es supremamente importante en el diseño de un dispositivo mecatrónico debido a que es por medio de este que se permite obtener la electricidad necesaria para el accionamiento de los motores y demás elementos que se utilizan en la interacción entre el usuario y el equipo, además en el caso del brazo robótico JOSI 2.0 la programación está sujeta a la utilización de un PIC, elemento considerado como electrónico y que necesita de una configuración específica para su funcionamiento. En la Figura 12 se ilustra el diagrama de bloques general del sistema electrónico y posteriormente se pueden observar los diferentes circuitos a utilizar, estos en el momento de la implementación serán elaborados en circuito impreso. (La lista de los elementos electrónicos se puede observar en la sección de diseño para manufactura).

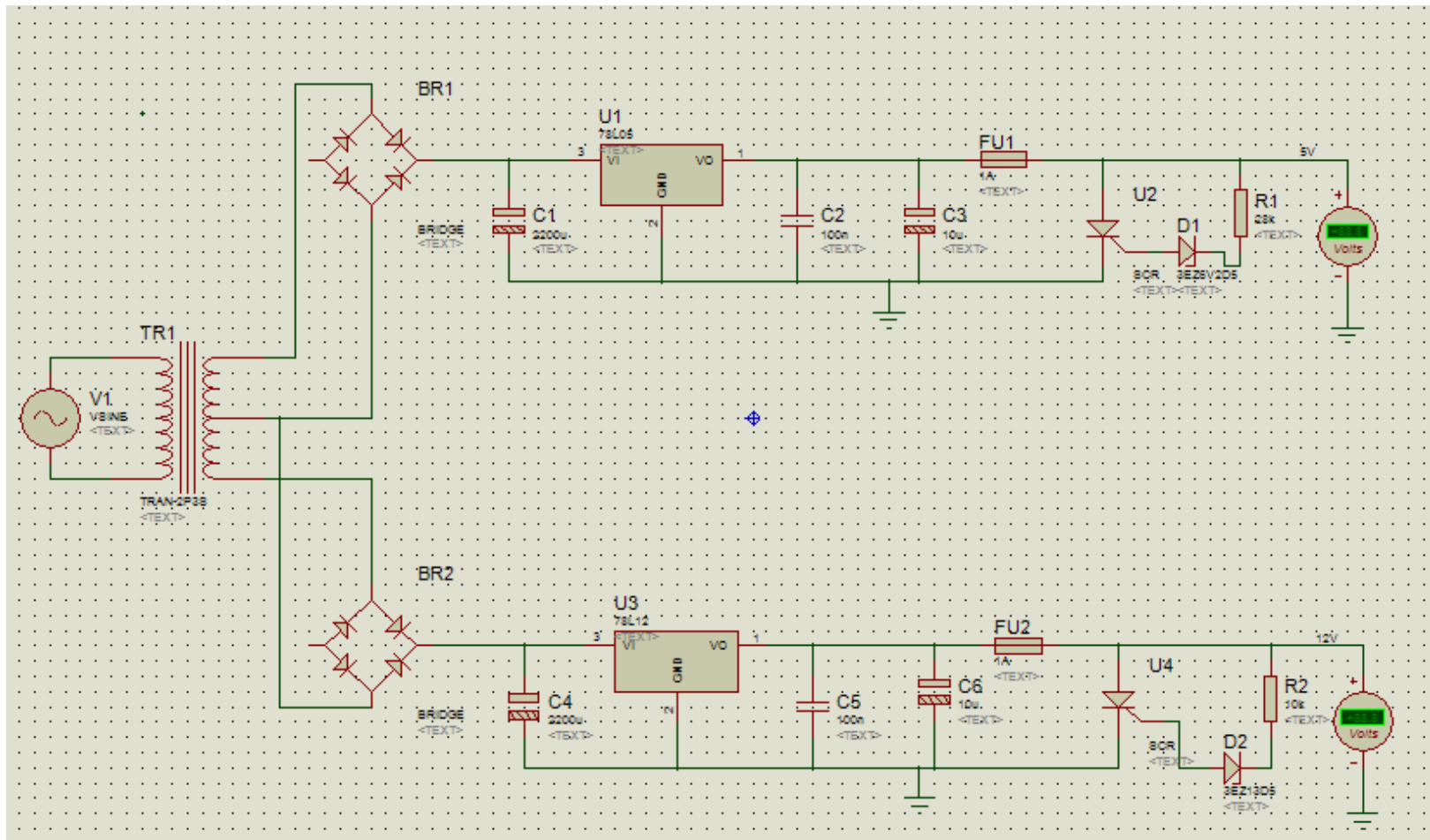
Figura 12. Diagrama Sistema electrónico JOSI 2.0.



En la Figura 13 se puede observar el circuito de la fuente, es necesario un transformador con la bobina secundaria dividida para poder contar con la fuente de 5V y 12V un poco independientes, ambas cuentan con protección por medio de fusibles, un SCR C106 y un diodo zener. La fuente de 5V es necesaria para la alimentación del microcontrolador, y el LCD; la fuente de 12V es necesaria para la alimentación de los motores y el solenoide. El transformador a utilizar se ha elegido de 5A debido a que el consumo máximo del circuito es de 4A que es llevado a cabo por los motores en trabajo continuo, se ha decidido 1A de tolerancia para soportar los picos inesperados.

Los elementos utilizados en el diseño de la parte electrónica son los elementos estándar que permiten un funcionamiento perfecto ya que el valor de los capacitores, resistencias, cristales y demás permiten tener señales claras a la salida que es lo que se necesita para un correcto funcionamiento del producto final.

Figura 13. Circuito de la Fuente de JOSI 2.0.



En la Figura 14 se encuentra el circuito de las conexiones del PIC junto con el LCD y el teclado a utilizar, este ultimo por ser personalizado se ha realizado para efectos del diseño con pulsadores; en la parte inferior izquierda se encuentra unos transistores en configuración Darlington que permiten entregarle la corriente necesaria al solenoide para su buen desempeño. El PIC elegido ha sido el 16F877 debido a que es un circuito integrado comúnmente encontrado en el comercio, el LCD se ha escogido de 2x40 debido a que para garantizar un uso intuitivo es necesario una pantalla lo suficientemente grande para mostrar los mensajes claros al operario.

Las Figuras 15 y 16 muestran los puente H, conjunto electrónico que permite la inversión de giro del motor, este circuito será reemplazado por el integrado L298 que suministra 4A, este CI cuenta con 2 puente H con protección para los motores, por consiguiente solo será necesario uno para poder controlar los dos motores.

Las figuras presentan etiquetas que permiten la ubicación e integración de los circuitos, partiendo desde la fuente y terminando en los puente H junto con los motores, en la Figura 16 por ejemplo se puede observar a la izquierda una etiqueta PWM2 cuya ubicación se puede buscar en el diagrama del PIC (Figura 14) lo que indica que el microcontrolador es el encargado de entregar el PWM al puente H.

Figura 14. Circuito con microcontrolador PIC 16F877.

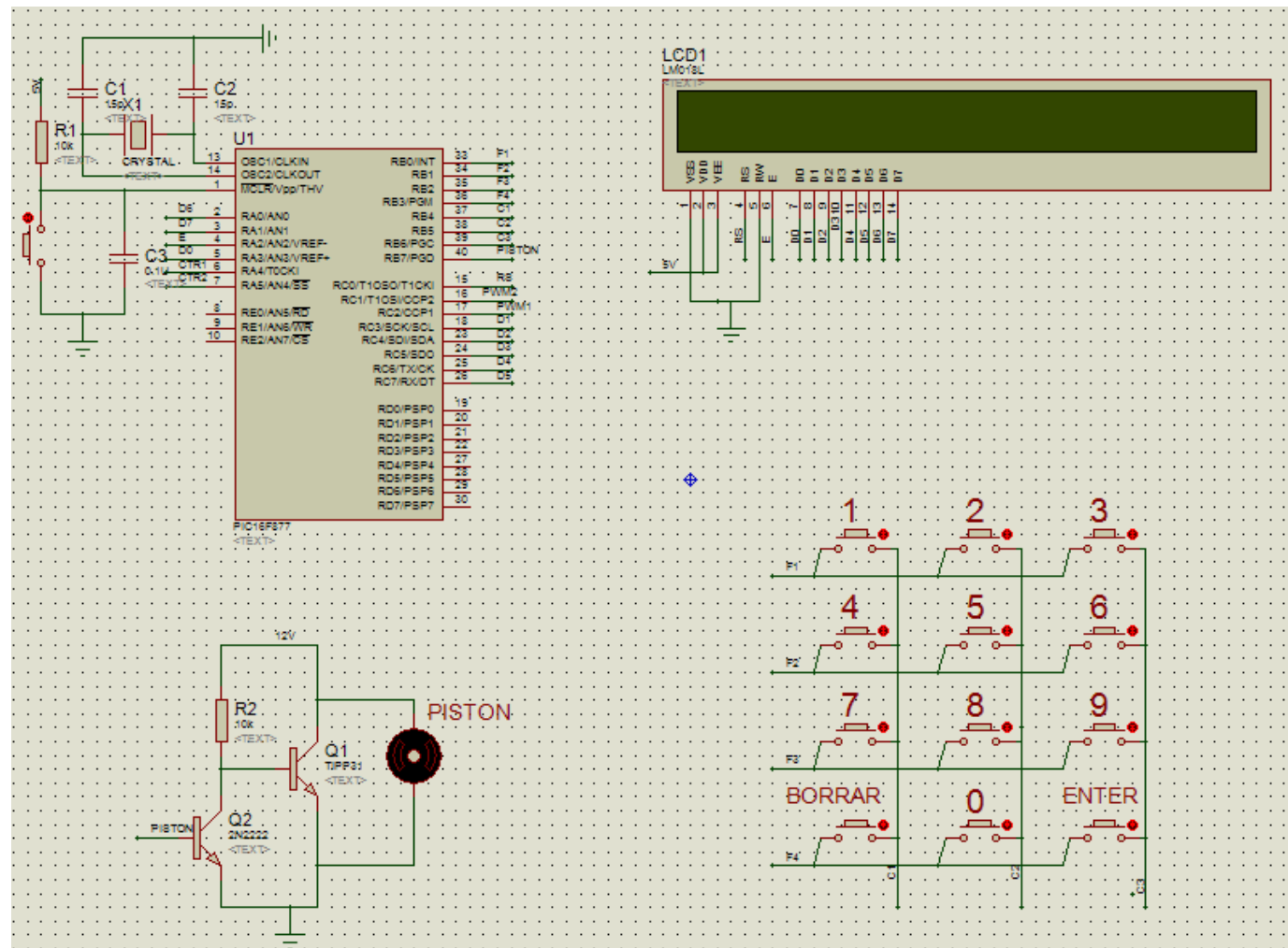


Figura 15. Puente H motor 1.

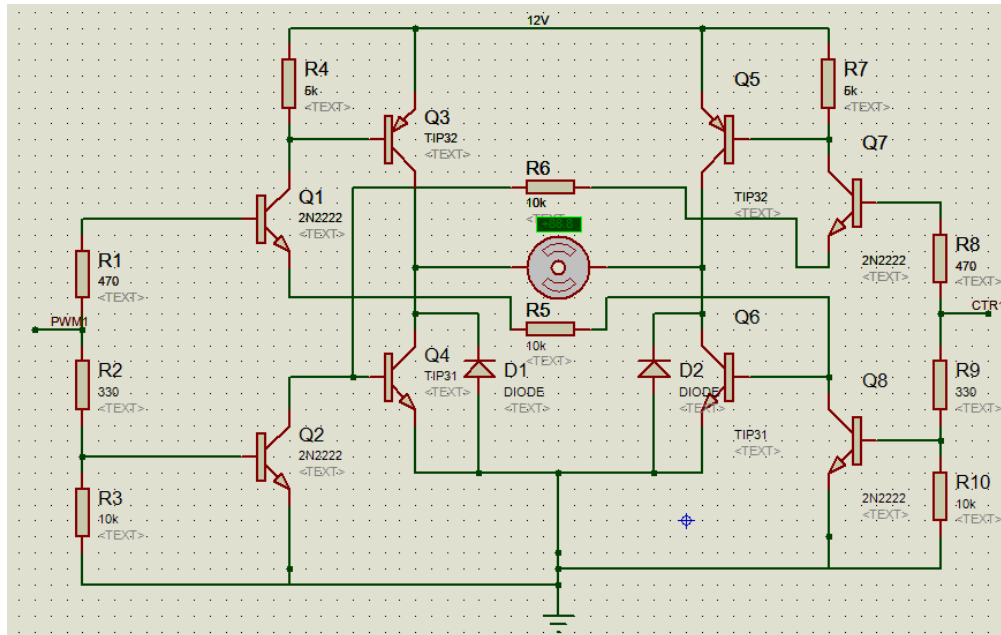
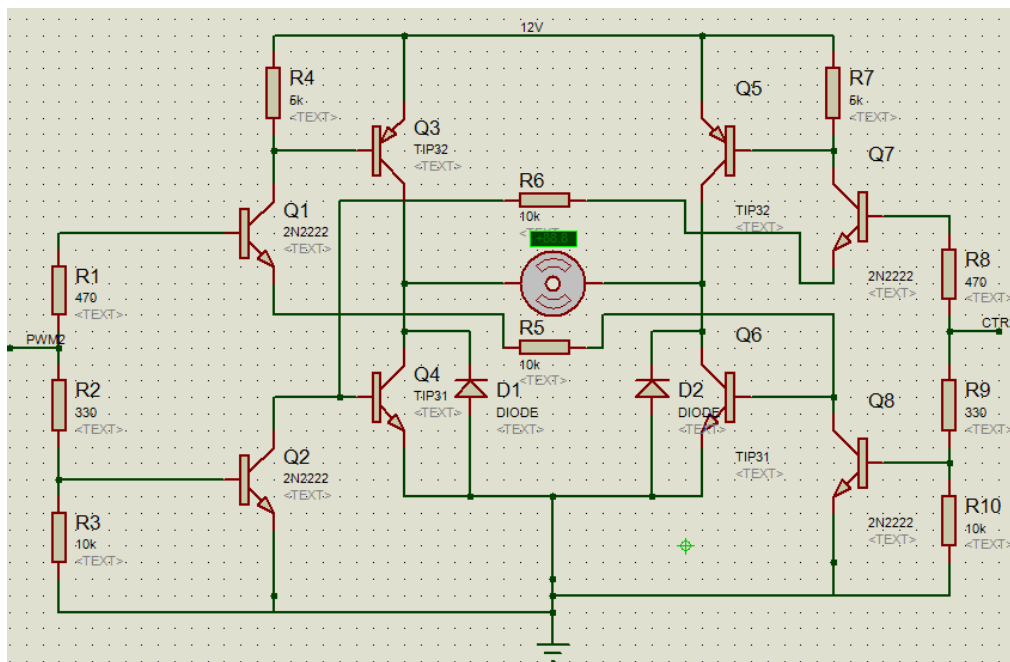


Figura 16. Puente H motor 2.



Con el fin de lograr una optimización del diseño el teclado es un diseño propio como se muestra en el Figura 13.

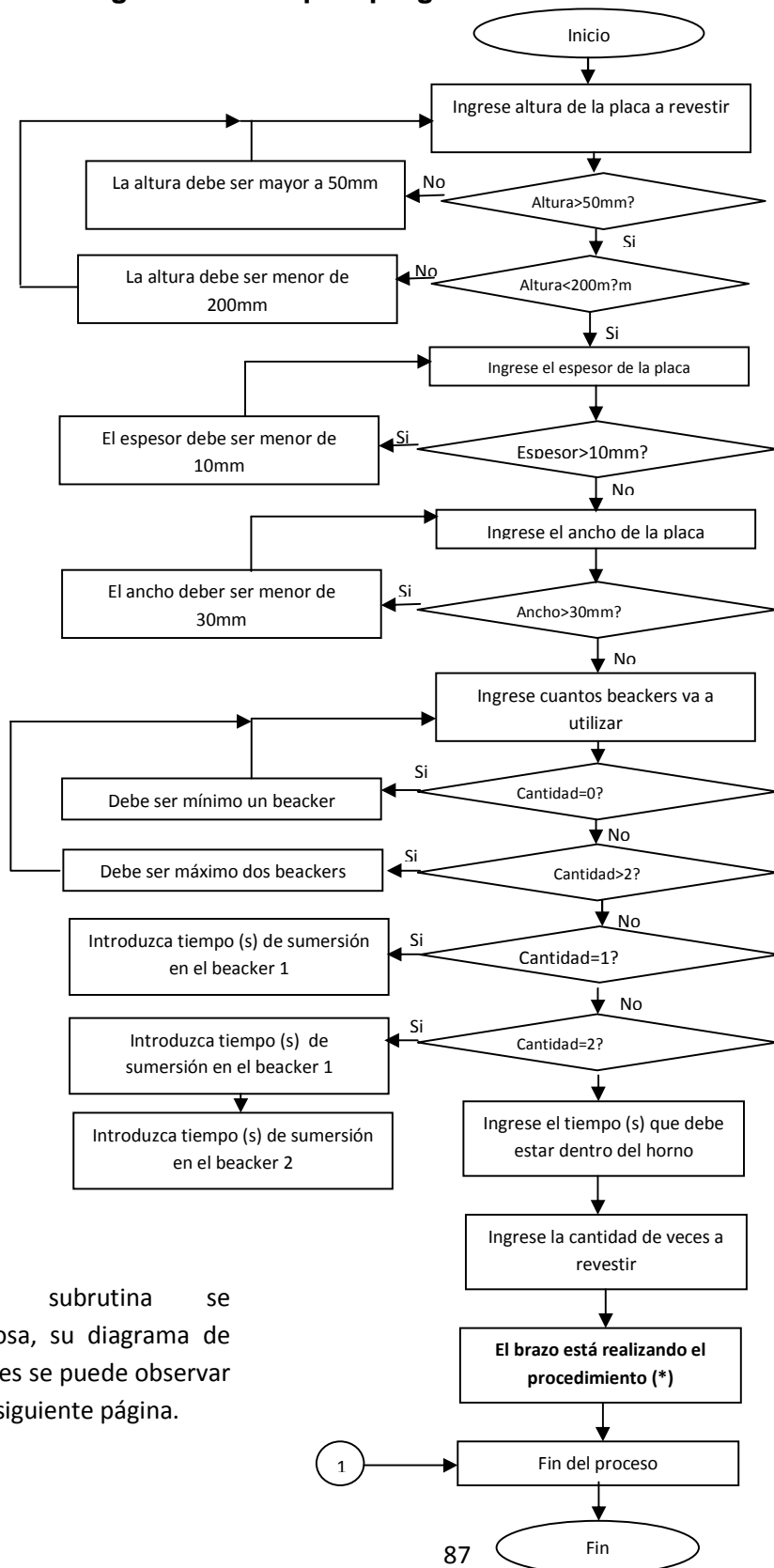
Figura 17. Diagrama del teclado.

7	8	9
4	5	6
1	2	3
—	0	↵

10.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PROGRAMACIÓN

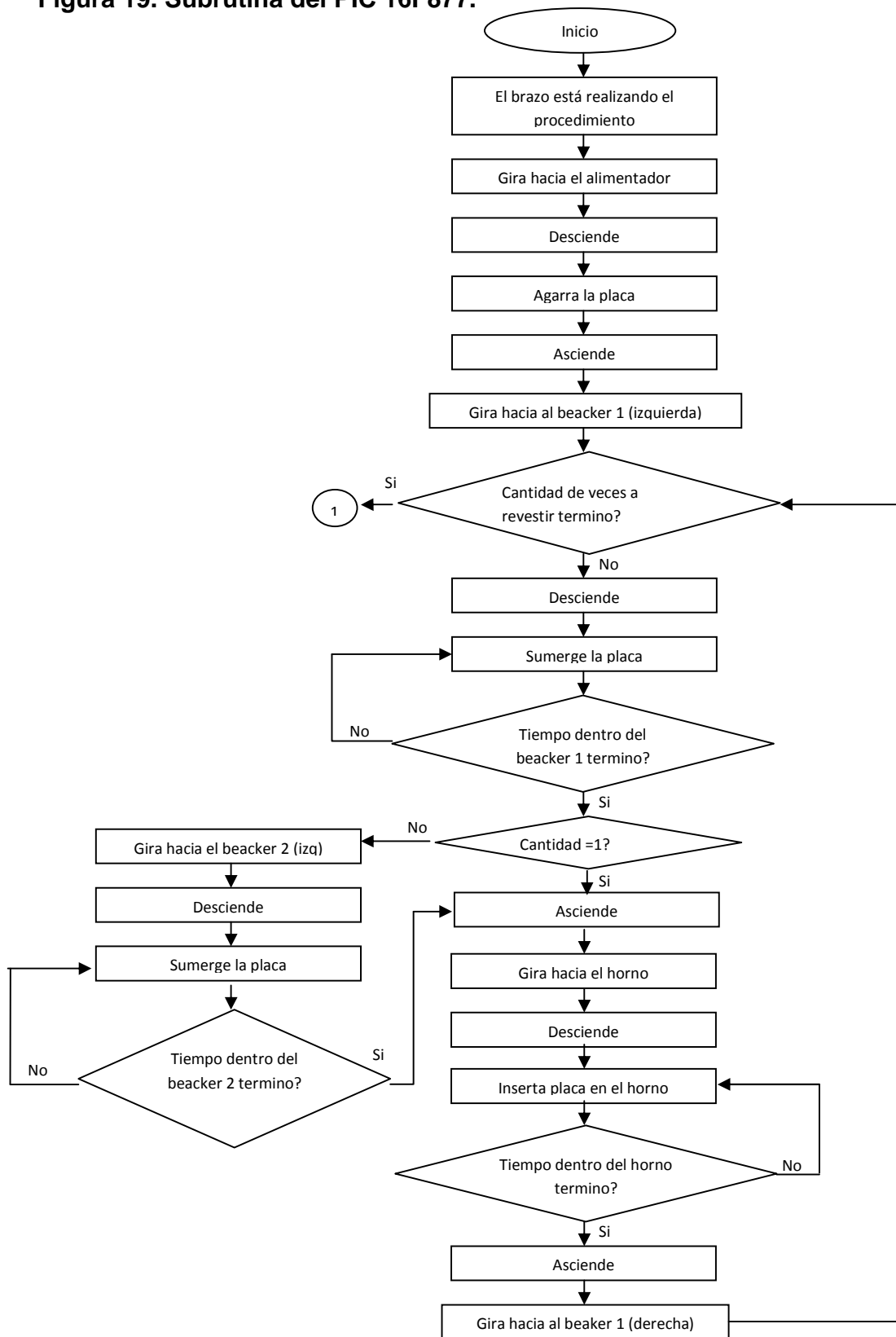
Para realizar una correcta programación es necesario elaborar la planeación de lo que ejecuta el programa, en la Figura 18 y Figura 19 de las siguientes paginas, se pueden observar los diagramas de flujo del programa que lleva el PIC 16F877, el cual es el cerebro del brazo robótico, en él se encuentran grabados todos los pasos que debe desempeñar el dispositivo para su buen funcionamiento, partiendo de las comparaciones que debe realizar como control de las variables del proceso.

Figura 18. Diagrama de bloques programación PIC 16F877.



*Esta subrutina se desglosa, su diagrama de bloques se puede observar en la siguiente página.

Figura 19. Subrutina del PIC 16F877.

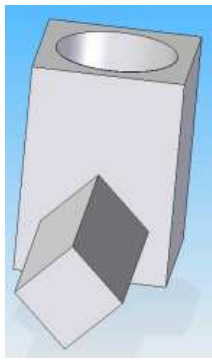


10.3 MEMORIA DE CALCULOS MECANICOS Y ESTRUCTURALES

Se puede definir diseño de ingeniería como “el proceso de aplicar diversas técnicas y los principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización”^[1]. Para lograr un diseño optimo de un producto mecatrónico es necesario realizar cálculos pues es con base en estos que se logra elegir los motores necesarios para realizar los movimientos, validar las estructuras elegidas y comprobar de manera teórica que el fin para el cual se ha diseñado la maquina podrá cumplirse; en esta sección mostraremos todas aquellas operaciones matemáticas realizadas en el desarrollo de este proyecto.

Para lograr la apertura del gripper y la sujeción del material a revestir se utiliza un pistón o solenoide en posición vertical, para poder elegir este solenoide de los que se encuentran en el mercado es necesario conocer el peso que este debe soportar en su eje, es decir el peso del gripper y la lamina a revestir, se han realizado los siguientes cálculos para este fin:

Figura 20. Acople de las pinzas 1.



Calculo del Volumen 1. Figura 20.

$$V_1 = L * L * L$$

$$V_1 = 10 * 10^{-3}m * 10 * 10^{-3}m * 10 * 10^{-3}m$$

$$V_1 = 1 * 10^{-6}m^3$$

$$V_2 = L * L * L$$

$$V_2 = 15 * 10^{-3}m * 5 * 10^{-3}m * 5 * 10^{-3}m$$

$$V_2 = 3,75 * 10^{-7}m^3$$

$$V_3 = \pi * r^2 * h$$

$$V_3 = \pi * (4 * 10^{-3}m)^2 * (8 * 10^{-3})m$$

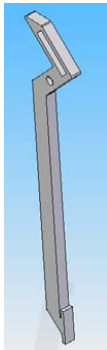
$$V_3 = 4,02 * 10^{-7}m^3$$

$$V_{T2} = V_1 + V_2 - V_3$$

$$V_{T2} = 1 * 10^{-6}m^3 + 3,75 * 10^{-7}m^3 - 4,02 * 10^{-7}m^3$$

$$V_{T2} = 9,73 * 10^{-7}m^3$$

Figura 21. Pinzas del Gripper.



Calculo del Volumen 2. Figura 21.

$$V_1 = L * L * L$$

$$V_1 = 14 * 10^{-2}m * 1 * 10^{-2}m * 6 * 10^{-3}m$$

$$V_1 = 8 * 10^{-6}m^3$$

$$V_2 = L * L * L$$

$$V_2 = 23 * 10^{-3}m * 1 * 10^{-2}m * 6 * 10^{-3}m$$

$$V_2 = 1 * 10^{-6}m^3$$

$$V_3 = L * L * L$$

$$V_3 = 28 * 10^{-3}m * 1 * 10^{-2}m * 6 * 10^{-3}m$$

$$V_3 = 2 * 10^{-6}m^3$$

$$V_4 = L * L * L$$

$$V_4 = 20 * 10^{-3}m * 1 * 10^{-2}m * 6 * 10^{-3}m$$

$$V_4 = 1 * 10^{-6}m^3$$

$$V_5 = L * L * L$$

$$V_5 = 25 * 10^{-3}m * 5 * 10^{-3}m * 6 * 10^{-3}m$$

$$V_5 = 7,5 * 10^{-7}m^3$$

$$V_6 = \pi * r^2 * h$$

$$V_6 = \pi * (3 * 10^{-3}m)^2 * (6 * 10^{-3})m$$

$$V_6 = 1,70 * 10^{-7}m^3$$

$$V_{T1} = [V_1 + V_2 + V_3 + V_4 - V_5 - V_6] * 2$$

$$V_{T1} = [8 * 10^{-6}m^3 + 1 * 10^{-6}m^3 + 2 * 10^{-6}m^3 + 1 * 10^{-6}m^3 - 7,5 * 10^{-7}m^3 - 1,7 * 10^{-7}m^3] * 2$$

$$V_{T1} = [11 * 10^{-6} m^3] * 2$$

$$V_{T1} = 22 * 10^{-6} m^3$$

$$m = masa$$

$$\rho = densidad$$

$$V = volumen$$

$$g = gravedad$$

$$Volumen\ del\ acople = 9,73 * 10^{-7} m^3$$

$$Densidad\ del\ acero = 7850 Kg/m^3$$

$$m = \rho * V$$

$$m = \frac{7850 Kg}{m^3} * (9,73 * 10^{-7} m^3)$$

$$m_{AcoplePinzas} = 7,64 * 10^{-3} Kg$$

$$Volumen\ de\ las\ pinzas = 22 * 10^{-6} m^3$$

$$Densidad\ del\ aluminio = 2700 Kg/m^3$$

$$m = \rho * V$$

$$m = \frac{2700 Kg}{m^3} * (22 * 10^{-6} m^3)$$

$$m_{Pinzas1} = 59,4 * 10^{-3} Kg$$

$$masa\ de\ la\ carga = m_{Carga} = 1 Kg$$

$$m_{Total} = m_1 + m_2 + m_3$$

$$m_{Total} = 7,64 * 10^{-3}Kg + 59,4 * 10^{-3}Kg + 1Kg$$

$$m_{Total} = 1,07Kg$$

$$F = m_{Total} * g * Factor\ de\ seguridad$$

$$F = 1,07Kg * \frac{9,8m}{s^2} * 1,5$$

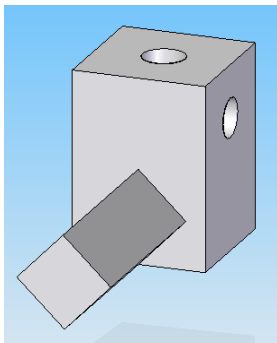
$$F = 10,49N * 1,5$$

$$F = 15,73N$$

El pistón elegido para que supla estas características es marca Ledex tipo Push referencia 195226 2 25. Las dimensiones son: diámetro de 26mm X 52 mm de largo, posee un peso de 247 g. posee una fuerza de sostenimiento acostado de 61.5 N a 20°C y a 60° de 29.4 N a 20°C. (Ver anexo 8).

Debido a que la elección del pistón varia las dimensiones del acople, se debe volver a calcular su volumen (Volumen 1) para comprobar que el solenoide sigue proporcionando la fuerza necesaria para realizar su actividad.

Figura 22. Acople de las Pinzas 2.



Calculo de Volumen 1. Figura 22

$$V_1 = L * L * L$$

$$V_1 = 10 * 10^{-3}m * 10 * 10^{-3}m * 10 * 10^{-3}m$$

$$V_1 = 1 * 10^{-6}m^3$$

$$V_2 = L * L * L$$

$$V_2 = 15 * 10^{-3}m * 5 * 10^{-3}m * 5 * 10^{-3}m$$

$$V_2 = 3,75 * 10^{-7}m^3$$

$$V_3 = \pi * r^2 * h$$

$$V_3 = \pi * (16 * 10^{-4}m)^2 * (8 * 10^{-3})m$$

$$V_3 = 6,43 * 10^{-8}m^3$$

$$V_{T2} = V_1 + V_2 - V_3$$

$$V_{T2} = 1 * 10^{-6}m^3 + 3,75 * 10^{-7}m^3 - 6,43 * 10^{-8}m^3$$

$$V_{T2} = 1 * 10^{-6}m^3$$

$$m = masa$$

$$\rho = densidad$$

$$V = volumen$$

$$g = gravedad$$

$$Volumen\ del\ acople = 1 * 10^{-6}m^3$$

$$\text{Densidad del acero} = 7850 \text{Kg/m}^3$$

$$m = \rho * V$$

$$m = \frac{7850 \text{Kg}}{\text{m}^3} * (1 * 10^{-6} \text{m}^3)$$

$$m_{\text{AcoplePinzas}} = 10,29 * 10^{-3} \text{Kg}$$

$$\text{masa de la carga} = m_{\text{Carga}} = 1 \text{Kg}$$

$$m_{\text{Total}} = m_1 + m_2 + m_3$$

$$m_{\text{Total}} = 10,29 * 10^{-3} \text{Kg} + 59,4 * 10^{-3} \text{Kg} + 1 \text{Kg}$$

$$m_{\text{Total}} = 1,07 \text{Kg}$$

$$F = m_{\text{Total}} * g * \text{Factor de seguridad}$$

$$F = 1,07 \text{Kg} * \frac{9,8 \text{m}}{\text{s}^2} * 1,5$$

$$F = 10,49 \text{N} * 1,5$$

$$F = 15,73 \text{N}$$

El nuevo torque es también suplido por el pistón solenoide seleccionado, quedando definido este elemento para abrir y cerrar el gripper de JOSI 2.0

En este diseño se utiliza un tornillo sin fin para lograr un movimiento lineal a partir de un movimiento circular producido por un motor que será elegido dependiendo del torque necesario para producir el movimiento de subida y bajada de la carga por medio del tornillo, en este caso la carga está representado por el peso de la estructura del brazo y la placa a revestir, para lograr este movimiento es necesario una forma de rosca bastante resistente que puede ser rosca cuadrada, ACME o

trapezoidal, se ha tomado la decisión de trabajar con una rosca ACME debido a que por su ángulo incluido de 29° es de fácil fabricación, además cuenta con la capacidad de absorber cargas en ambas direcciones contrario a las roscas trapezoidales, teniendo en cuenta la Tabla 16 se ha elegido el tornillo que posea una rosca ACME 0,375-12 de un inicio, esta elección se ha realizado teniendo en cuenta el diámetro mayor del tornillo deseado en el diseño preliminar realizado, se ha tomado de un inicio pues para la aplicación del brazo no es necesario un desplazamiento rápido, a partir de las características de esta rosca es posible realizar el cálculo del torque:

$$T_{su} = \frac{Pd_p (\mu\pi d_p + L\cos\alpha)}{2 (\pi d_p \cos\alpha - \mu L)}$$

$$T_{sd} = \frac{Pd_p (\mu\pi d_p - L\cos\alpha)}{2 (\pi d_p \cos\alpha + \mu L)}$$

$T_{su} \rightarrow$ Par de torsión del tornillo para elevar la carga

$T_{sd} \rightarrow$ Par de torsión del tornillo para bajar la carga

$\alpha \rightarrow$ Angulo incluido de la rosca $\rightarrow 14.5^\circ$

$P \rightarrow$ Fuerza que debe elevar y bajar el tornillo

$L \rightarrow$ Avance $\rightarrow 0,083in$

$d_p \rightarrow$ Diametro de paso $\rightarrow 0,333in$

$\mu \rightarrow$ Coeficiente de fricción $\rightarrow 1,5$ (Se lubrica con aceite)

Tabla 16. Dimensiones de roscas ACME.

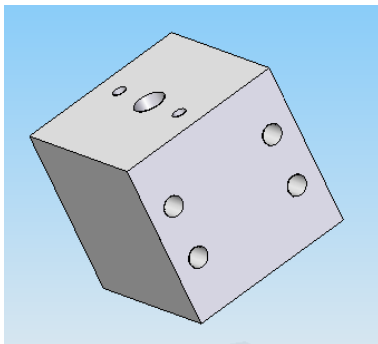
Dimensiones principales de roscas ACME American Standard				
Diámetro mayor (in)	Hilos por pulgada	Paso de rosca (in)	Diámetro de paso (in)	Diámetro menor (in)
0,250	16	0,063	0,219	0,188

0,313	14	0,071	0,277	0,241
0,375	12	0,083	0,333	0,292
0,438	12	0,083	0,396	0,354
0,500	10	0,100	0,450	0,400

Fuente: NORTON ROBERT L. Worcester Polytechnic Institute. Diseño de maquinas. México 1999 Prentice HALL Pág. 898

La fuerza que debe elevar y bajar el tornillo es el peso de la estructura del brazo robótico mas el peso de la lámina a revestir, para obtener estos valores es necesario encontrar su volumen y con ayuda de la densidad del material su masa para después multiplicando con la fuerza gravitacional encontrar el peso.

Figura 23. Unión 1. Brazo horizontal.



Calculo de Volumen 3 Figura 23.

$$V_1 = L * L * L$$

$$V_1 = 49 * 10^{-3}m * 49 * 10^{-3}m * 49 * 10^{-3}m$$

$$V_1 = 118 * 10^{-6}m^3$$

$$V_2 = \pi * r^2 * h * 4$$

$$V_2 = [\pi * (3 * 10^{-3}m)^2 * (1 * 10^{-2})m] * 4$$

$$V_2 = 2,83 * 10^{-7} m^3 * 4$$

$$V_2 = 1 * 10^{-6} m^3$$

$$V_3 = \pi * r^2 * h$$

$$V_3 = \pi * (45 * 10^{-4} m)^2 * (49 * 10^{-3}) m$$

$$V_3 = 3 * 10^{-6} m^3$$

$$V_4 = \pi * r^2 * h * 2$$

$$V_4 = [\pi * (3 * 10^{-3} m)^2 * (49 * 10^{-3}) m] * 2$$

$$V_4 = 1 * 10^{-6} m^3 * 2$$

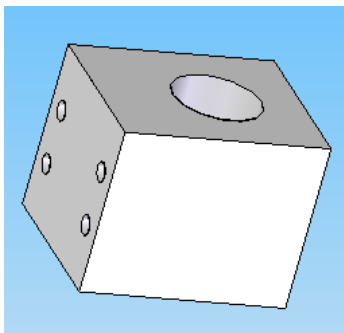
$$V_4 = 3 * 10^{-6} m^3$$

$$V_{T3} = V_1 - V_2 - V_3 - V_4$$

$$V_{T3} = 118 * 10^{-6} m^3 - 1 * 10^{-6} m^3 - 3 * 10^{-6} m^3 - 3 * 10^{-6} m^3$$

$$V_{T3} = 111 * 10^{-6} m^3$$

Figura 24. Unión 2. Brazo horizontal.



Calculo Volumen 4 Figura 24

$$V_1 = L * L * L$$

$$V_1 = 49 * 10^{-3}m * 49 * 10^{-3}m * 49 * 10^{-3}m$$

$$V_1 = 118 * 10^{-6}m^3$$

$$V_2 = \pi * r^2 * h * 4$$

$$V_2 = [\pi * (3 * 10^{-3}m)^2 * (1 * 10^{-2})m] * 4$$

$$V_2 = 2,83 * 10^{-7}m^3 * 4$$

$$V_2 = 1 * 10^{-6}m^3$$

$$V_3 = \pi * r^2 * h$$

$$V_3 = \pi * (79 * 10^{-4}m)^2 * (2 * 10^{-3})m$$

$$V_3 = 3,92 * 10^{-7}m^3$$

$$V_4 = \pi * r^2 * h$$

$$V_4 = \pi * (13 * 10^{-3}m)^2 * (47 * 10^{-3})m$$

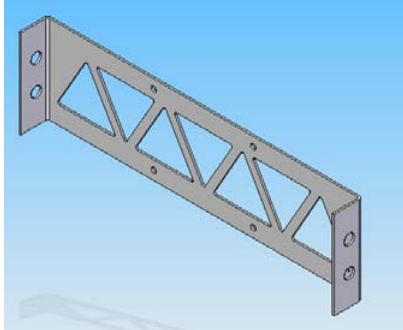
$$V_4 = 25 * 10^{-6}m^3$$

$$V_{T4} = V_1 - V_2 - V_3 - V_4$$

$$V_{T4} = 118 * 10^{-6}m^3 - 1 * 10^{-6}m^3 - 3,92 * 10^{-7}m^3 - 25 * 10^{-6}m^3$$

$$V_{T4} = 92 * 10^{-6}m^3$$

Figura 25. Lateral del brazo horizontal.



Calculo Volumen 5 Figura 25

$$V_1 = L * L * L$$

$$V_1 = 18 * 10^{-2}m * 49 * 10^{-3}m * 3 * 10^{-3}m$$

$$V_1 = 2,6 * 10^{-5}m^3$$

$$V_2 = \left[\frac{b * h}{2} * e \right] * 7$$

$$V_2 = \left[\frac{33 * 10^{-3}m * 29 * 10^{-3}m}{2} * (3 * 10^{-3}m) \right] * 7$$

$$V_2 = [1 * 10^{-6}m^3] * 7$$

$$V_2 = 1 * 10^{-5}m^3$$

$$V_3 = [L * L * L] * 2$$

$$V_3 = [15 * 10^{-3}m * 49 * 10^{-3}m * 3 * 10^{-3}m] * 2$$

$$V_3 = [2 * 10^{-6}m^3] * 2$$

$$V_3 = 4 * 10^{-6}m^3$$

$$V_4 = \pi * r^2 * h * 4$$

$$V_4 = [\pi * (3 * 10^{-3}m)^2 * (3 * 10^{-3})m] * 4$$

$$V_4 = 8,48 * 10^{-8}m^3 * 4$$

$$V_4 = 3,39 * 10^{-7}m^3$$

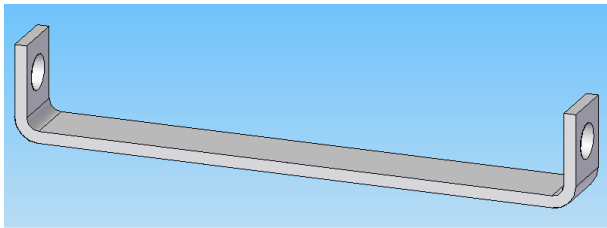
$$V_{T5} = [V_1 - V_2 + V_3 - V_4] * 2$$

$$V_{T5} = [2,6 * 10^{-5}m^3 - 1 * 10^{-5}m^3 + 4 * 10^{-6}m^3 - 3,39 * 10^{-7}m^3] * 2$$

$$V_{T5} = [2 * 10^{-5}m^3] * 2$$

$$V_{T5} = 39 * 10^{-6}m^3$$

Figura 26. Unión entre laterales brazo horizontal.



Calculo del Volumen 6 Figura 26.

$$V_1 = L * L * L$$

$$V_1 = 47 * 10^{-3}m * 5 * 10^{-3}m * 3 * 10^{-3}m$$

$$V_1 = 7,05 * 10^{-7}m^3$$

$$V_2 = [L * L * L] * 2$$

$$V_2 = [7 * 10^{-3}m * 5 * 10^{-3}m * 3 * 10^{-3}m] * 2$$

$$V_2 = [1,05 * 10^{-7}m^3] * 2$$

$$V_2 = 2,1 * 10^{-7} m^3$$

$$V_3 = \pi * r^2 * h * 2$$

$$V_3 = [\pi * (1,5 * 10^{-3} m)^2 * (3 * 10^{-3}) m] * 2$$

$$V_3 = 2,12 * 10^{-8} m^3 * 2$$

$$V_3 = 4,24 * 10^{-8} m^3$$

$$V_{T6} = [V_1 + V_2 - V_3] * 4$$

$$V_{T6} = [7,05 * 10^{-7} m^3 + 2,1 * 10^{-7} m^3 - 4,24 * 10^{-8} m^3] * 4$$

$$V_{T6} = [8,73 * 10^{-7} m^3] * 4$$

$$V_{T6} = 3 * 10^{-6} m^3$$

$$V_{acoples} = V_{T3} + V_{T4}$$

$$V_{acoples} = 111 * 10^{-6} m^3 + 92 * 10^{-6} m^3$$

$$V_{acoples} = 203 * 10^{-6} m^3$$

$$Volumen\ de\ los\ acoples = 203 * 10^{-6} m^3$$

$$Densidad\ del\ acero = 7850 Kg/m^3$$

$$m = \rho * V$$

$$m = \frac{7850 Kg}{m^3} * (203 * 10^{-6} m^3)$$

$$m_4 = 1,59 Kg$$

$$V_{Brazo} = V_{T5} + V_{T6}$$

$$V_{Brazo} = 39 * 10^{-6}m^3 + 3 * 10^{-6}m^3$$

$$V_{Brazo} = 42 * 10^{-6}m^3$$

$$Volumen\ del\ brazo = 42 * 10^{-6}m^3$$

$$Densidad\ del\ aluminio = 2700Kg/m^3$$

$$m = \rho * V$$

$$m = \frac{2700Kg}{m^3} * (42 * 10^{-6}m^3)$$

$$m_5 = 0,11Kg$$

$$m_{Total\ Brazo} = m_4 + m_5$$

$$m_{Total\ Brazo} = 1,59Kg + 0,11Kg$$

$$m_{Total\ Brazo} = 1,70Kg$$

$$m_{Brazo} = 1,70Kg$$

$$m_{Pinzas} = 67 * 10^{-3}Kg$$

$$m_{Piston} = 0,24Kg$$

$$m_{Carga} = 1Kg$$

$$P = (m_{Brazo} + m_{Pinzas} + m_{Piston} + m_{Carga}) * \frac{9,8m}{s^2}$$

$$P = (1,70Kg + 67 * 10^{-3}Kg + 0,24Kg + 1Kg) * \frac{9,8m}{s^2} \rightarrow P = 29,47N = 6,63lb_f$$

Después de encontrar la fuerza P se continúa a hallar el par de torsión para elevar carga y para bajarla, debido a que las medidas del tornillo están dadas en pulgadas es necesario trabajar la fuerza en libras. (Ver anexo 9).

$$T_{su} = \frac{Pd_p (\mu\pi d_p + L\cos\alpha)}{2 (\pi d_p \cos\alpha - \mu L)}$$

$$T_{sd} = \frac{Pd_p (\mu\pi d_p - L\cos\alpha)}{2 (\pi d_p \cos\alpha + \mu L)}$$

$$T_{su} = \frac{(6,63lb_f)0,333in (0,15 * \pi * 0,333in + 0,083in * \cos(14,5^\circ))}{2 \pi * 0,333in * \cos(14,5^\circ) - 0,15 * 0,083in}$$

$$T_{su} = 0,262inlb_f = 0,030Nm = 4,24ozin$$

$$T_{sd} = \frac{(6,63lb_f)0,333in (0,15 * \pi * 0,333in - 0,083in * \cos(14,5^\circ))}{2 \pi * 0,333in * \cos(14,5^\circ) + 0,15 * 0,083in}$$

$$T_{sd} = 0,082inlb_f = 0,0094Nm = 1,33ozin$$

Para la elección del motor se ha tenido en cuenta el par de torsión mayor que es el referente a la elevación de la carga, supliendo con estas se tiene el motor marca Pittman de la serie Brush DC servo motor, con un diámetro referencia 9234, el cual trae como producto complementario su propio encoder en el eje pasante. Posee la capacidad de un torque constante de 6.1 oz-in a una alimentación de 12 VDC. (Ver anexo 10).

Para la aplicación es necesario que el tornillo tenga la capacidad de autobloqueo, es decir, el tornillo a pesar de que se le aplique una carga axial de cualquier magnitud permanecerá sin girar manteniendo así la carga en su sitio sin necesidad de utilizar frenos adicionales, para conocer si un tornillo posee la capacidad de

autobloqueo se debe conocer la fuerza de fricción, su avance, su diámetro de paso y su ángulo incluido:

$$\mu \geq \frac{L}{\pi d_p} \cos \alpha$$

$$0,15 \geq \frac{0,083in}{\pi * 0,333in} \cos(14,5^\circ)$$

$$0,15 \geq 0,077$$

Debido a que se cumple esta desigualdad, se puede garantizar que el tornillo ACME 0,375-12 podrá auto bloquearse permitiendo mantener fija la carga.

La eficiencia de un tornillo es la relación que existe entre el trabajo de salida y el trabajo de entrada, se puede determinar por la siguiente ecuación:

$\lambda \rightarrow$ Angulo de avance

$$e = \frac{\cos \alpha - \mu \tan \lambda}{\cos \alpha + \mu \cot \lambda}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{L}{\pi d_p} \right)$$

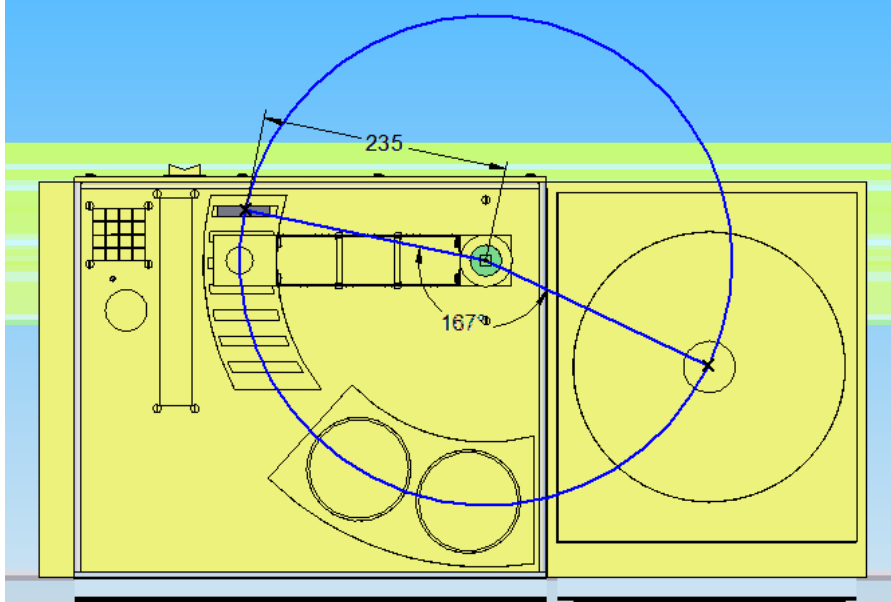
$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{0,083in}{\pi * 0,333in} \right)$$

$$\lambda = 4,54^\circ$$

$$e = \frac{\cos(14,5^\circ) - 0,15 \tan(4,54^\circ)}{\cos(14,5^\circ) + 0,15 \cot(4,54^\circ)}$$

$$e = 0,33$$

Figura 27. Morfología cilíndrica de JOSI 2.0.



El brazo robótico presenta una morfología cilíndrica tal como se ilustra en la Figura 27, por consiguiente es necesario utilizar un motor capaz de producir el movimiento rotatorio, este motor debe romper la inercia producida por el peso de la estructura, se ha tomado el brazo como un disco, los cálculos necesarios se encuentran a continuación:

$$I = m * r^2$$

$$I_1 = m_{Brazo} * r^2 \rightarrow I_1 = 1,70Kg * (0,118m)^2 \rightarrow I_1 = 0,024Kgm^2$$

$$I_2 = (m_{Pinzas} + m_{Piston} + m_{Carga}) * r^2 \rightarrow I_2 = 1,31Kg * (0,235)^2 \rightarrow I_2 = 0,072Kgm^2$$

$$I_t = (I_1 + I_2) \rightarrow I_t = 0,096Kgm^2$$

$$T = I * \alpha$$

$$wf^2 = wi^2 + 2\alpha(\phi_f - \phi_i) \rightarrow \alpha = \frac{wf^2 - wi^2}{2(\phi_f - \phi_i)}$$

$$\theta(rad) = \left(\frac{2\pi}{360}\right) * 167^\circ$$

$$\theta(rad) = \frac{\pi}{1,08}$$

$$r = 0,235m$$

$$w = \frac{V}{r} \rightarrow w = \frac{0,005m/s}{0,235m} \rightarrow w = 0,021rad/s$$

$$\alpha = \frac{\left(\frac{0,021rad}{s^2}\right)}{2 * \left(\frac{\pi}{1,08}\right)} \rightarrow \alpha = 7,6 * \frac{10^{-5}rad}{s^2}$$

$$T = \left(0,096Kgm^2 * 7,6 * \frac{10^{-5}rad}{s^2}\right) * 1,5 \rightarrow T = 11 * 10^{-6}Nm$$

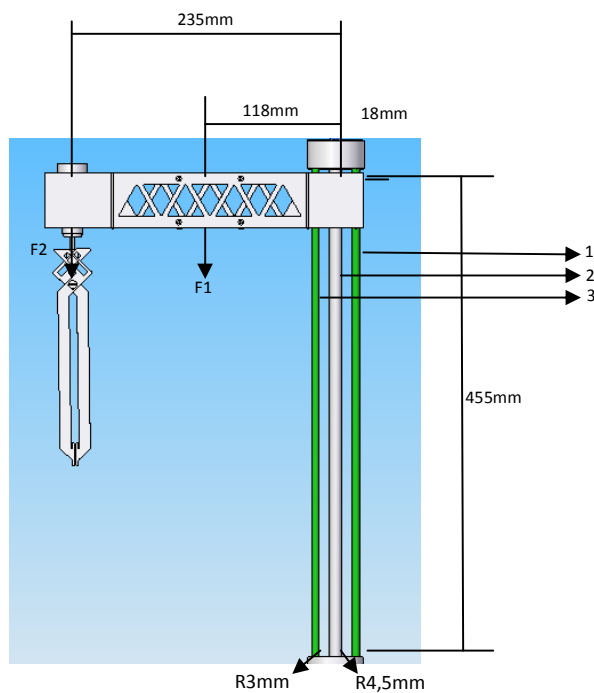
El motor elegido para lograr el movimiento rotacional es marca Pittman de la serie Slotless BLDC Referencia Bi-04-100-0.30, posee un torque continuo de 0.30 oz-in equivalente a 0.42 Ncm (Newtons * Centímetros) a su vez igual a 0.0042 Nm (Newtons * metro). Un diámetro de 9,53mm y un largo de 50,8mm, eje pasante, lo cual facilita el acople de un encoder el cual también puede ser adquirido con el mismo fabricante. (Ver anexo 11).

El brazo robótico cuenta con dos varillas guías y un tornillo sin fin, estos tres elementos soportan una fuerza de tensión producida por el peso de la estructura y una tendencia al pandeo que es el efecto que sufre un material hecho columna cuando se le aplica una fuerza axial y se produce una barriga hacia alguno de los lados, similar a lo que sucede cuando se toma una barra de chicle de los extremos y se hace presión queriendo unir los dedos. Por lo cual se debe analizar el momento producido en cada una de barras y del tornillo para así saber si el área transversal y la altura elegidas pueden soportar la tensión.

Se debe calcular la razón de esbeltez de cada una de las columnas para conocer la forma en que se les debe tratar, es decir, como columnas cortas, largas o intermedias porque dependiendo de esta característica son las ecuaciones a utilizar para hallar el esfuerzo de flexión ya que las cortas fallaran por compresión mientras que las largas o intermedias fallaran por pandeo, a continuación se muestran los cálculos realizados:

$S_r \rightarrow$ Razón de esbeltez (Slenderness ratio)
 $l \rightarrow$ Longitud de la columna
 $k \rightarrow$ Radio de giro
 $I \rightarrow$ Segundo momento de inercia
 $A \rightarrow$ Área transversal de la columna
 $D \rightarrow$ Diámetro
 $M \rightarrow$ Momento
 $\sigma \rightarrow$ Esfuerzo de flexión
 $d \rightarrow$ Distancia
 $F \rightarrow$ Fuerza
 $FS \rightarrow$ Factor de seguridad $\rightarrow 1,5$
 $E \rightarrow$ Módulo de elasticidad del acero $\rightarrow 207\text{GPa}$

Figura 28. Radios y longitudes de JOSI 2.0 en vista lateral.



En la Figura 28 se pueden apreciar radios y distancias del brazo robótico, estos están dados en milímetros, pero se les ha dado su equivalencia en pulgadas debido a que en el comercio es más usual encontrar este tipo de materiales en estas medidas, así que la varilla de radio 3mm es una varilla de 1/4in y el tornillo que es de radio de 4,5mm es de 0,375in.

$$F_1 = m_{Brazo} * \frac{9,8m}{s^2} \rightarrow F_1 = 1,70Kg * \frac{9,8m}{s^2} \rightarrow F_1 = 16,66N$$

$$F_2 = (m_{Pinzas} + m_{Piston} + m_{Carga}) * \frac{9,8m}{s^2}$$

$$F_2 = (67 * 10^{-3}Kg + 0,24Kg + 1Kg) * \frac{9,8m}{s^2} \rightarrow F_2 = 12,81N$$

Primero se evaluara el esfuerzo a flexión para comprobar que el material no fallará por culpa de la flexión que F1 y F2 ejercen sobre las columnas, para esto se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$M = Fd$$

$$I_x = \frac{\pi D^4}{64} = I_y$$

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

$$M_1 = (F_1 * d_1 + F_2 * d_2) * FS$$

$$M_1 = (16,66N * 0,136m + 12,81N * 0,253m) * 1,5$$

$$M_1 = 8,26Nm$$

$$I_{x1} = \frac{\pi(6,35 * 10^{-3}m)^4}{64} = I_{y1}$$

$$I_{x1} = I_{y1} = 7,98 * 10^{-11}m^4$$

$$I_1 = \sqrt{(7,98 * 10^{-11} m^4)^2 + (7,98 * 10^{-11} m^4)^2}$$

$$I_1 = 1,13 * 10^{-10} m^4$$

$$\sigma = \frac{8,26 Nm (3,18 * 10^{-3} m)}{1,13 * 10^{-10} m^4}$$

$$\sigma = 2,32 * \frac{10^8 N}{m^2} = 2,32 * 10^8 Pa = 232 MPa$$

Si se observa en la Tabla 17 la cual brinda información acerca de la resistencia de los materiales, se ve que el Acero SAE 4340 templado y revenido a 1200°F tiene una resistencia máxima a la tensión de 965MPa, resistencia suficiente para soportar el esfuerzo de flexión al cual será sometido la columna 1.

Tabla 17. Resistencia de los materiales.

Propiedades mecánicas de algunos materiales					
Material	Estado	Limite Elástico a la tensión		Resistencia máxima a la tensión	
		Kpsi	MPa	Kpsi	MPa
De Aluminio 1100	Laminado en frio	22	152	24	165
Acero SAE 4340	Templado y revenido a 1.200°F	124	855	140	965

Fuente: NORTON ROBERT L. Worcester Polytechnic Institute. Diseño de maquinas. México 1999 Prentice HALL.

$$M_2 = (F_1 * d_1 + F_2 * d_2) * FS$$

$$M_2 = (16,66N * 0,118m + 12,81N * 0,235m) * 1,5$$

$$M_2 = 7,46Nm$$

$$I_{x2} = \frac{\pi(9,53 * 10^{-3}m)^4}{64} = I_{y2}$$

$$I_{x2} = I_{y2} = 4,05 * 10^{-10}m^4$$

$$I_2 = \sqrt{(4,05 * 10^{-10}m^4)^2 + (4,05 * 10^{-10}m^4)^2}$$

$$I_2 = 5,73 * 10^{-10}m^4$$

$$\sigma_2 = \frac{7,46Nm(4,77 * 10^{-3}m)}{5,73 * 10^{-10}m^4}$$

$$\sigma_2 = 6,21 * \frac{10^7N}{m^2} = 6,21 * 10^7Pa = 62,1MPa$$

Si se observa de nuevo la Tabla 17 se analiza que el Acero SAE 4340 templado y revenido a 1200°F tiene una resistencia máxima a la tensión de 965MPa, resistencia suficiente para soportar el esfuerzo de flexión al cual será sometido la columna 2 (El tornillo).

$$M_3 = (F_1 * d_1 + F_2 * d_2) * FS$$

$$M_3 = (16,66N * 0,100m + 12,81N * 0,217m) * 1,5$$

$$M_3 = 6,67Nm$$

$$I_3 = I_1 = 1,13 * 10^{-10}m^4$$

$$\sigma = \frac{6,67Nm(3,18 * 10^{-3}m)}{1,13 * 10^{-10}m^4}$$

$$\sigma = 1,88 * \frac{10^8N}{m^2} = 1,88 * 10^8Pa = 188MPa$$

Si una vez más se observa la Tabla 17 se pueden observar que el Acero SAE 4340 templado y revenido a 1200°F tiene una resistencia máxima a la tensión de 965MPa, resistencia suficiente para soportar el esfuerzo de flexión al cual será sometido la columna 3.

Para realizar el análisis de pandeo de las columnas, se debe hallar la razón de esbeltez, debido a que estas columnas están ancladas en ambos extremos se trabaja con la longitud efectiva (l_{eff}), esto permite trabajar las columnas como si fueran más cortas por lo cual soportan más carga.

A continuación el análisis por pandeo de las guías:

$$S_r = \frac{l_{eff}}{k}$$

$$S_y = \frac{2\pi^2 E}{S_r^2}$$

$$S_{rD} = \pi \sqrt{\frac{2E}{S_y}}$$

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{I_1}{\pi r^2}}$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{1,13 * 10^{-10} m^4}{\pi (3,18 * 10^{-3} m)^2}}$$

$$k_1 = 1,89 * 10^{-3} m$$

$$S_{r1} = \frac{0,65(455 * 10^{-3} m)}{1,89 * 10^{-3} m}$$

$$S_{r1} = 156,48$$

$$S_{y1} = \frac{2\pi^2(207 * 10^9 Pa)}{(156,48)^2}$$

$$S_{y1} = 1,67 * 10^8 Pa$$

$$S_{rD} = \pi \sqrt{\frac{2(207 * 10^9 Pa)}{1,67 * 10^8 Pa}}$$

$$S_{rD} = 156,41$$

Como $S_r \leq S_{rD}$ para hallar la fuerza critica, es decir, la fuerza que es capaz de soportar la columna sin pandearse se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_{cr} = A \left[S_y - \frac{1}{E} \left(\frac{S_y S_r}{2\pi} \right)^2 \right]$$

$$F_{cr} = 3,18 * 10^5 m^2 \left[1,67 * 10^8 Pa - \frac{1}{207 * 10^9} \left(\frac{1,67 * 10^8 Pa (156,48)}{2\pi} \right)^2 \right]$$

$$F_{cr} = 2653,26N$$

Se debe calcular una fuerza permisible, que es la relación entre la fuerza crítica y el factor de seguridad:

$$F_{permisible} = \frac{P_{cr}}{FS}$$

$$F_{permisible} = \frac{2653,26N}{1,5}$$

$$F_{permisible} = 1768,84N$$

Estos valores encontrados son útiles para las dos guías pues cuentan con la misma área transversal y la misma longitud, la fuerza permisible capaz de soportar cada una de las vigas es de 1768,84N suficiente para soportar 29,47N que ejercen la estructura del brazo y la carga, se ha dejado con estas dimensiones aunque han podido reducirse debido a que las vigas de ¼" son usualmente comerciales.

A continuación el análisis por pandeo del tornillo trabajado como una columna:

$$k_2 = \sqrt{\frac{I_2}{\pi r^2}}$$

$$k_2 = \sqrt{\frac{5,73 * 10^{-10} m^4}{\pi (4,77 * 10^{-3} m)^2}}$$

$$k_2 = 2,83 * 10^{-3}m$$

$$S_{r2} = \frac{0,65(455 * 10^{-3}m)}{2,38 * 10^{-3}m}$$

$$S_{r2} = 124,26$$

$$S_{y2} = \frac{2\pi^2(207 * 10^9Pa)}{(124,26)^2}$$

$$S_{y1} = 2,64 * 10^8Pa$$

$$S_{rD} = \pi \sqrt{\frac{2(207 * 10^9Pa)}{2,64 * 10^8Pa}}$$

$$S_{rD} = 124,40$$

Como $S_r \leq S_{rD}$ para hallar la fuerza critica, es decir, la fuerza que es capaz de soportar la columna sin pandearse se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_{cr} = A \left[S_y - \frac{1}{E} \left(\frac{S_y S_r}{2\pi} \right)^2 \right]$$

$$F_{cr} = 7,15 * 10^5 m^2 \left[2,64 * 10^8 Pa - \frac{1}{207 * 10^9} \left(\frac{2,64 * 10^8 Pa (124,26)}{2\pi} \right)^2 \right]$$

$$F_{cr} = 9460,43N$$

Se debe calcular una fuerza permisible, que es la relación entre la fuerza crítica y el factor de seguridad:

$$F_{permisible} = \frac{P_{cr}}{FS}$$

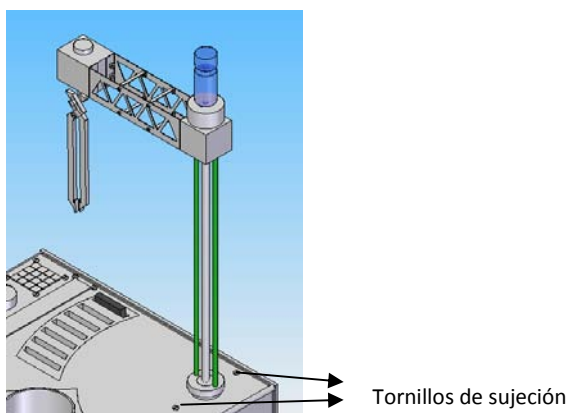
$$F_{permisible} = \frac{9460,43N}{1,5}$$

$$F_{permisible} = 6306,95N$$

Estos valores encontrados son útiles para el tornillo, la fuerza permisible capaz de soportar es de 6306,95N suficiente para soportar 29,47N que ejercen la estructura del brazo y la carga, se ha dejado con estas dimensiones aunque han podido reducirse debido a que los tornillos de 0,375in son usualmente comerciales.

Hay dos tornillos de sujeción que están sometidos a la misma fuerza de tensión, Figura 29, que los las vigas y el tornillo, es por esto que también es necesario realizar un cálculo similar para saber si su geometría es capaz de soportar dicha fuerza, estos tornillos se encuentran a la misma distancia de las fuerzas que el tornillo, todos los tornillos se han tomado como de ¼ in, es con esta suposición que se realizan los siguientes cálculos:

Figura 29. Tornillería de sujeción.



$$M_{TS} = (F_1 * d_1 + F_2 * d_2) * FS$$

$$M_{TS} = (16,66N * 0,118m + 12,81N * 0,235m) * 1,5$$

$$M_{TS} = 7,46Nm$$

$$I_{xTS} = \frac{\pi(6,35 * 10^{-3}m)^4}{64} = I_{y2}$$

$$I_{xTS} = I_{y2} = 7,98 * 10^{-11}m^4$$

$$I_{TS} = \sqrt{(7,98 * 10^{-11}m^4)^2 + (7,98 * 10^{-11}m^4)^2}$$

$$I_{TS} = 1,13 * 10^{-10}m^4$$

$$\sigma_{TS} = \frac{7,46Nm(3,17 * 10^{-3}m)}{1,13 * 10^{-10}m^4}$$

$$\sigma_{TS} = 2,09 * \frac{10^8N}{m^2} = 2,09 * 10^8Pa = 30312,7psi = 30,31Kpsi$$

Para elegir los sujetadores, en este caso son pernos, es necesario tener en cuenta la resistencia de prueba (S_p) que es el esfuerzo al cual el perno empieza a deformarse permanentemente y como se puede observar en la Tabla 18 el perno de numero de grado SAE 2, con diámetro exterior de ¼ in tiene un resistencia de prueba mínima de 55Kpsi soportando así la tensión ejercida por la estructura del brazo y la carga, no se ha elegido el numero 1 debido a que la resistencia de prueba tiene un valor menor al límite de fluencia elástico del material; ambos tornillos son iguales debido a que se encuentran a la misma distancia de las fuerzas que les ejercen tensión.

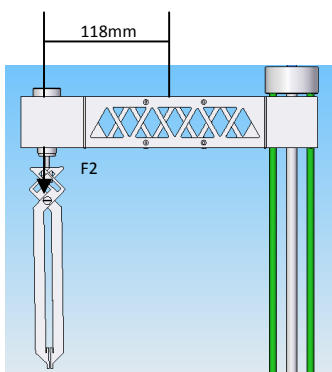
Tabla 18. Especificaciones y resistencias SAE para tornillos de acero.

Especificaciones y resistencias SAE para tornillos de acero				
Numero de grado SAE	Rango de dimensión del diámetro exterior (in)	Resistencia de prueba mínima (Kpsi)	Limite de fluencia elástico mínimo (Kpsi)	Resistencia mínima a tensión
1	0,25-1,5	33	36	60
2	0,25-0,75	55	57	74
2	0,875-1,5	33	36	60

Fuente: NORTON ROBERT L. Worcester Polytechnic Institute. Diseño de maquinas. México 1999 Prentice HALL Pág. 914

El brazo horizontal también debe soportar una tensión ejercida por el peso de la pinza, Figura 30, el pistón y la carga, también se le debe hacer cálculos de esfuerzo de flexión con la intensidad de que el material y la geometría de la pieza soporten dicha tensión:

Figura 30. Calculo de esfuerzo de flexión del brazo horizontal.



$$M_{Brazo} = (F_2 * d_2) * FS$$

$$M_{Brazo} = (12,81N * 0,235m) * 1,5$$

$$M_{Brazo} = 2,27 \text{ Nm}$$

$$I_{xBrazo} = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_{yBrazo} = \frac{b^3h}{12}$$

$$I_{xBrazo} = \frac{(3 * 10^{-3}m)(49 * 10^{-3}m)^3}{12}$$

$$I_{xBrazo} = 2,94 * 10^{-8}m^4$$

$$I_{yBrazo} = \frac{(3 * 10^{-3}m)^3(49 * 10^{-3}m)}{12}$$

$$I_{yBrazo} = 1,10 * 10^{-10}m^4$$

$$I_{Brazo} = \sqrt{(2,94 * 10^{-8}m^4)^2 + (1,10 * 10^{-10}m^4)^2}$$

$$I_{Brazo} = 4,94 * 10^{-8}m^4$$

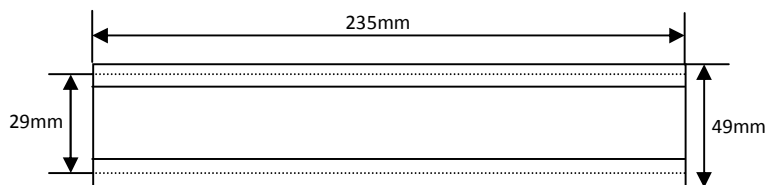
$$\sigma_{Brazo} = \frac{2,27Nm(24,5 * 10^{-3}m)}{4,94 * 10^{-8}m^4}$$

$$\sigma_{Brazo} = 1,13 \frac{10^6N}{m^2} = 1,13 * 10^6Pa = 1,13MPa$$

Para la elaboración de este brazo se ha decidido por la aleación de aluminio forjado 1100 laminado en frío debido a que su resistencia máxima a la tensión es de 165MPa, valor que supera el esfuerzo de flexión al cual es sometido, para ver las características del material se puede observar la Tabla 17, ilustrada algunas hojas atrás; la cual habla de la resistencia de los materiales.

El brazo horizontal cuenta con unos orificios con el fin de brindarle menor peso y mayor resistencia, estos triángulos han sido calculados como barras de enlace, como se ilustra en la Figura 31, los cálculos se muestran a continuación:

Figura 31. Diagrama para barras de enlace.

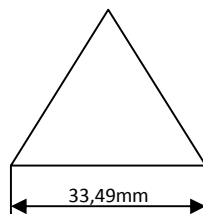


La distancia entre las líneas de unión es igual a 29mm.

$$\text{Longitud de barras de enlace} = \frac{29}{\cos 30^\circ} = 33,49mm$$

Se han elaborado triángulos equiláteros cuyos lados miden 33,49mm ilustrado en la Figura 32, con separación entre ellos de 5mm, los vértices han sido bordeados para evitar puntos de fractura del material.

Figura 32. Dimensiones de Barras.



10.4 FUNCIONAMIENTO DE JOSI 2.0

El proceso que el brazo robótico deberá seguir se inicia realizando el movimiento de rotación hasta quedar ubicado encima del alimentador de las placas a revestir, seguido de esto el pistón abre el gripper, y se produce el movimiento del eslabón horizontal hacia abajo, se cierra el gripper asegurando la placa o material a revestir, el brazo horizontal sube hasta la altura máxima y realiza el giro cilíndrico hasta la posición de los beackers, el brazo horizontal desciende dejando sumergida la placa en la solución por el tiempo programado, con suavidad el brazo llega nuevamente a su altura máxima espera el tiempo de secado indicado por el usuario, si es necesario se puede programar para que se sumerja en 2 beackers en un mismo proceso, posteriormente termina su rotación hasta quedar situado arriba de la entrada del horno tubular, el brazo horizontal baja y queda ubicado dentro del horno para realizar la cristalización de la solución, el brazo robótico tendrá un recubrimiento térmico en forma de mantas que le permiten soportar las temperaturas de hasta 1200°C. Este proceso es para una sola capa del tratamiento de Dip Coating, el proceso puede ser programado por el operario para las capas requeridas, de este modo el proceso se puede hacer para las n capas sin necesidad de que el brazo robótico suelte la muestra que se está tratando, dándole mayor calidad al proceso, para finalizar el brazo robótico se desplaza rotacionalmente a su cinemática inicial, también conocida como el home del robot con el gripper cerrado y la muestra sujeta.

11. CINEMATICAS DE JOSI 2.0

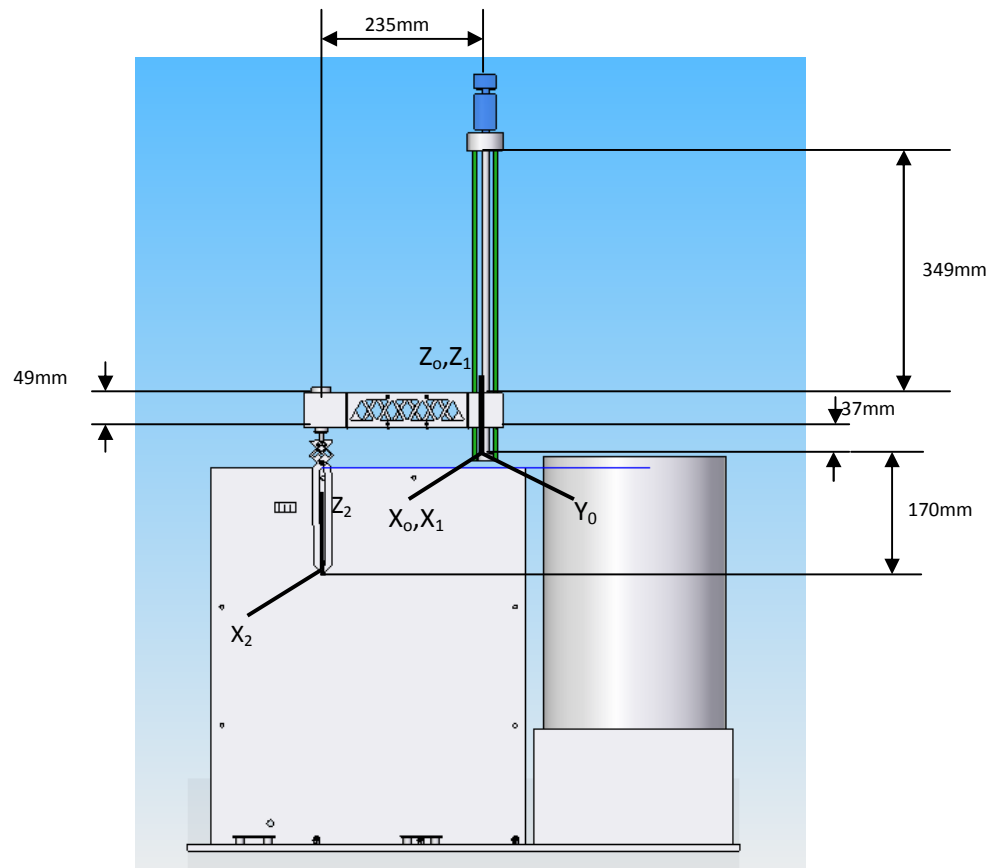
En términos generales la cinemática puede ser definida como la parte de la mecánica clásica que se centra en estudiar las leyes del movimiento de los cuerpos, partiendo de que hay un movimiento debe existir necesariamente un cambio en posición, velocidad y aceleración, a través del tiempo, este estudio se calcula solo a partir de la naturaleza del movimiento, NO de la razón por la cual este ocurre.

Partiendo de esto se pueden definir dos tipos de cinemáticas que pueden ser descritas para los brazos robóticos, la directa y la inversa, las cuales se muestran a continuación.

11.1 CINEMÁTICA DIRECTA

La cinemática directa es el estudio del cálculo de la posición de los eslabones del brazo robótico partiendo de sus componentes fijas, un sistema de referencia estático situado en la base del JOSI 2.0, y partiendo de las matrices de transformación de un eslabón rígido i con respecto a un anterior $i-1$, apoyándose en los parámetros de Denavit y Hartenberg para lograrlo. En la figura 33 se muestran los planos de referencia y las medidas de los eslabones de JOSI 2.0.

Figura 33. Medida eslabones y planos de referencia JOSI 2.0 en cinemática cero.



Una vez están definidos los planos de referencia continuamos con el llenado de la tabla de los parámetros D-H, a continuación se muestra a que hace referencia cada parámetro de dicha tabla.

a_i : Longitud de la normal común entre Z_i y Z_{i-1} (Distancia mas corta entre los Z).

α_i : Angulo entre los ejes Z_{i-1} y Z_i medido alrededor de X_i .

d_i : Distancia entre X_{i-1} y X_i medido sobre Z_{i-1} .

Θ_i : Angulo de la articulación del eje X_{i-1} y X_i medido sobre Z_{i-1} .

Donde a_i y d_i son siempre constantes en una estructura y solo debe existir una articulación variable al tiempo es decir no pueden haber un d_i y un θ_i .

PARÁMETROS DE DENAVIT – HARTENBERG

q_i	a_i	α_i	θ_i	d_i
1	0	0	θ_1^*	0
2	235mm	0	0	$-170mm + d_2^*$

* Variable

Una vez tenemos claros los parámetros D-H y podemos definir la matriz de transformación homogénea.

Matriz de transformación genérica

$${}^{i-1}_i A = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\sin(\theta_i) & a_i\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cos(\theta_i) & a_i\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz de transformación de 1 con respecto a 0

$${}^0_1 A = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz de transformación de 2 con respecto a 1

$${}^1_2A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 235mm \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -170mm + d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ahora bien, para obtener la matriz de transformación de la herramienta con respecto a la base fija del robot es necesario realizar la siguiente multiplicación de matrices

$${}^0_2A = {}^0_1A * {}^1_2A$$

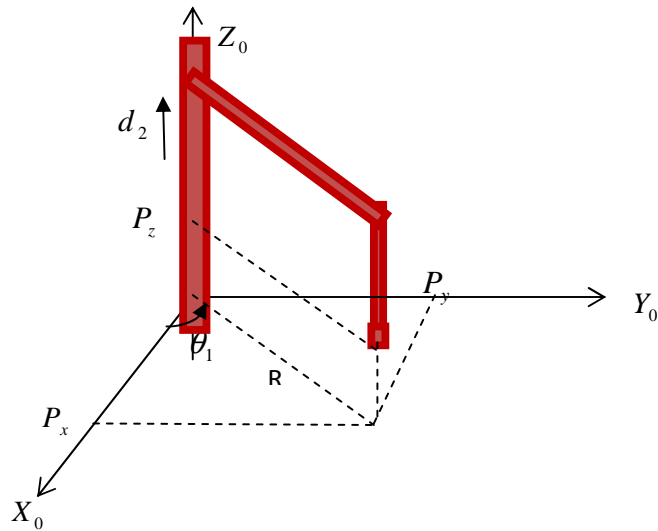
Y el resultado es la matriz:

$${}^0_2A = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 1 & 235\cos(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 235\sin(\theta) \\ 0 & 0 & 1 & -170mm + d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

11.2. CINEMÁTICA INVERSA

En contraposición con la cinemática directa para realizar esta cinemática inversa hay diversas formas de hacerlo, pero siempre se llegará a la respuesta única, esta se rige en el cálculo de las transformaciones, para lograr situar los eslabones del brazo robótico en la posición conocida deseada. A continuación se presenta el cálculo de la cinemática inversa de JOSI 2.0 por medio del método geométrico. Para lo cual es necesario tener el brazo robótico en posiciones intermedias como se aprecia en la figura 34.

Figura 34. JOSI 2.0 en posición intermedia.



Definición de los variables articulares a partir de los valores cartesianos

$$R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{P_y}{P_x}\right)$$

$$d_2 = 170\text{mm} - p_z$$

Y de esta manera quedan definidos los valores anteriormente considerados como variables, para lograr situar el robot en una posición cartesiana definida.

12. DISEÑO INDUSTRIAL

Desarrollar productos mecatrónicos no es tan solo una labor de números y cálculos, es necesario que estos cuenten con conceptos y especificaciones que optimicen el valor y la apariencia del producto, muchos usuarios no consumen dispositivos basados solo en su funcionalidad sino también en su apariencia, por esta razón debe existir orgullo de posesión y a raíz de esto dentro del desarrollo de un proyecto interviene un factor importante llamado *Diseño Industrial*, cuyos objetivos enmarcan determinar la utilidad del producto, su comunicación con el usuario de forma intuitiva para su manejo y mantenimiento, igualmente es necesario que con el apoyo de este diseño se manifieste la filosofía y visión empresarial, sin dejar a un lado la apariencia del dispositivo pues este debe ser llamativo y permitir su recuerdo a través del tiempo.

Aunque es muy importante el diseño industrial en todos los productos mecatrónicos existen algunos en donde su importancia es aún mayor, estos son dominados por el usuario, aquellos en donde es mucho más importante su funcionalidad y funcionamiento que su apariencia son dominados por la tecnología, el brazo robótico para la automatización del proceso de materiales sol gel: JOSI 2.0 es una muestra de aquellos dominados por la tecnología; para poder determinar esta característica es necesario realizar una evaluación de las necesidades ergonómicas y estéticas del producto, la cual se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Necesidades Ergonómicas y Estéticas JOSI 2.0

	BAJO	MEDIO	ALTO
ERGONOMIA			
Facilidad de uso			X
Facilidad de mantenimiento			X
Cantidad de interacciones		X	
Novedad de las interacciones	X		

Seguridad		X	
ESTETICA			
Diferenciación del producto	X		
Orgullo de posesión, imagen, moda	X		
Motivación del trabajador	X		

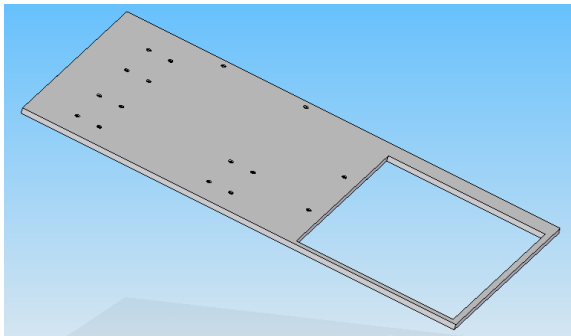
Gracias a la Tabla 19 se puede observar que es mucho más importante en nuestro producto la parte tecnológica que la ergonómica y estética aunque si se ha tenido en cuenta en su diseño una comunicación sencilla e intuitiva con el usuario, debido a que esta fue una necesidad requerida por el cliente desde el principio del proyecto; la necesidad de que el brazo robótico cuente con un fácil mantenimiento es debido a la practicidad que este presta, pues no es necesario desarmar y volver a ensamblar el brazo periódicamente para poder que este mantenga un funcionamiento correcto.

13. DISEÑO PARA MANUFACTURA

El diseño del brazo robótico JOSI 2.0 cuenta con materiales variados en su implementación, debido a que cada uno de ellos posee propiedades que benefician el funcionamiento del brazo, se ha utilizado aluminio, acero y empack, estos materiales serán mecanizados por medio de maquinas CNC y por medio de metodología laser, debido a que son técnicas que garantizan precisión.

A continuación se especifica el material necesario para la elaboración de cada pieza:

Figura 35. Base del robot.



En la Figura 35 se puede apreciar una pieza la cual es la base de todo el robot, será elaborada en lámina ASTM A-36 calibre $\frac{1}{2}$, cuenta con un espacio rectangular en donde va empotrada la base del horno, la estructura en donde va reposado el brazo, el LCD, y el teclado se encuentra anclado a esta base por medio de 4 tornillos de $\frac{1}{4}$ o 6mm, igualmente las plaquetas que contienen los circuitos electrónicos van adheridas a esta pieza por medio de 4 tornillos cada placa de $\frac{1}{4}$ o 6mm. Todos los tornillos de esta sección quedan empotrados en la lámina para evitar vibraciones en el brazo.

Las piezas que se ven en las Figuras 36, 37 y 38 se realizarán en forma de chapa, es decir, es una lámina Acero cold rolled calibre 14 a la que se le efectuará una

cierta cantidad de dobleces para lograr la forma que se observa, los cortes serán realizados por medio de un laser.

Figura 36. Base.

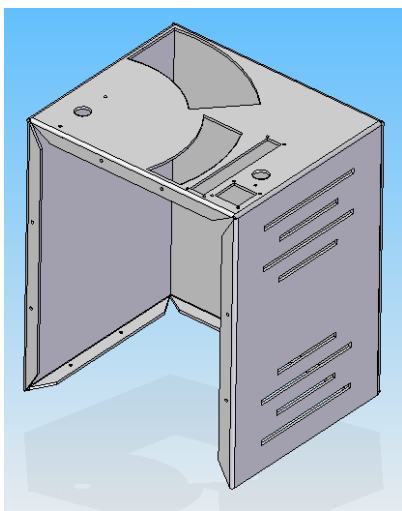


Figura 37. Puerta desmontable de la base.

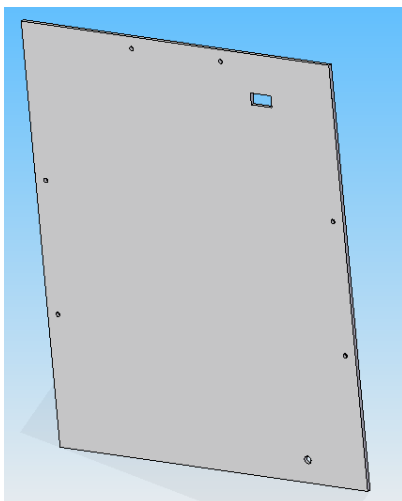
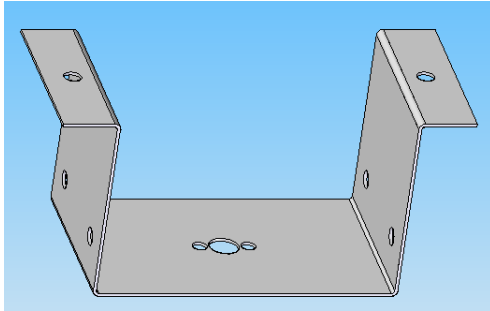


Figura 38. Soporte acople inferior del tornillo sin fin.



Cuenta con una tapa removible vista en la Figura 37, que permite la mantenibilidad en su interior, pues es ahí en donde se ubicara un motor, un encoder y los circuitos eléctricos, esta tapa será sujeta por medio de 6 tornillos de $\frac{1}{4}$ o 6mm que se encuentran ubicados en unas pestañas que contarán con un empaque en neopreno calibre 16 para evitar la intrusión de polvo y humedad.

La Figura 38 es un soporte en el cual coinciden el acople del tornillo sin fin y el motor cuenta con un sistema de sujeción a la base basado en dos tornillos superiores, es realizado con el fin de permitir anclaje e inmovilidad del brazo robótico en el momento de su funcionamiento, ya que el motor es un elemento que produce vibraciones no deseadas en el proceso.

Figura 39. Acople inferior tornillo sin fin.

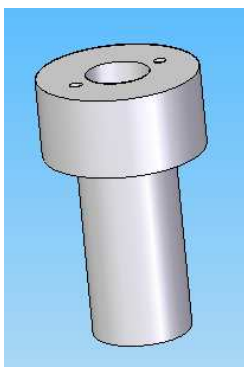


Figura 40. Unión 1. Brazo horizontal.

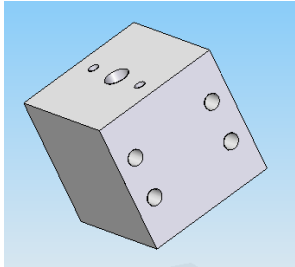


Figura 41. Unión 2. Brazo horizontal.

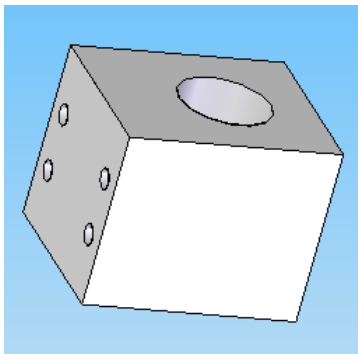
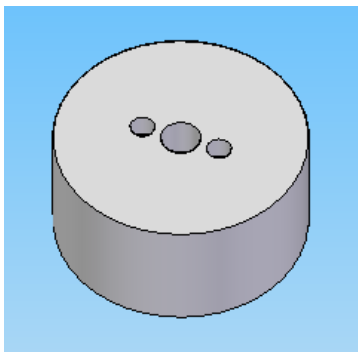


Figura 42. Acople superior tornillo sin fin.



Las Figura 39, 40, 41, 42, 43 y 44 son diversos acoples utilizados a lo largo del brazo elaborados en SAE 4340, la figura 39 es el acople que permite la rotación del brazo, pues está sujeto en la parte inferior del motor, y permite la sujeción del tornillos sin fin y de las guías; las figuras 40 y 41 permiten la unión del tonillo sin fin con el brazo horizontal y del brazo horizontal con las pinzas respectivamente, sujetan las laminas de aluminio que conforman el brazo horizontal por medio de unos prisioneros con cabeza de 1/4, la figura 41 es a la vez el sitio en donde va incrustado el pistón que permite la abertura de las pinzas.

Figura 43. Tapa acople pinzas.

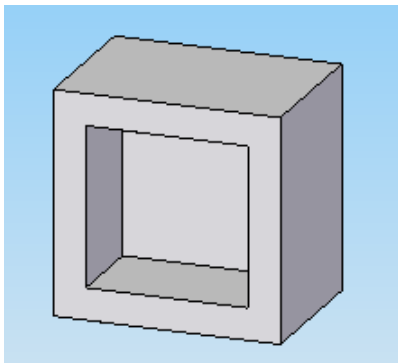
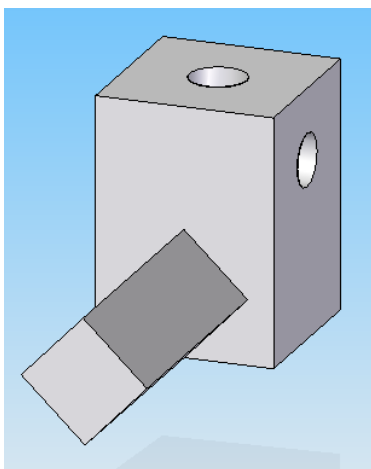


Figura 44. Acople pinzas.



La figura 42 es la parte que se encuentra ubicada en la parte superior del tornillo sin fin y las guías, es para su sujeción y para la unión de estos con el motor que permite el movimiento traslacional vertical, las figuras 43 y 44 son los acoples para las pinzas, en la parte superior de la figura 44 se observa un orificio, es ahí en donde coincide el vástago del pistón. La figura 43 es la tapa de aseguramiento de las pinzas con su acople.

Todas las perforaciones necesarias serán elaboradas por medio de una maquina CNC.

Figura 45. Pinza del gripper.

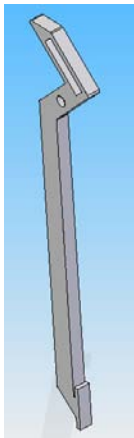


Figura 46. Lateral brazo horizontal.

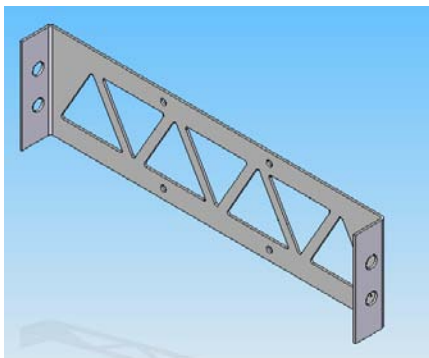
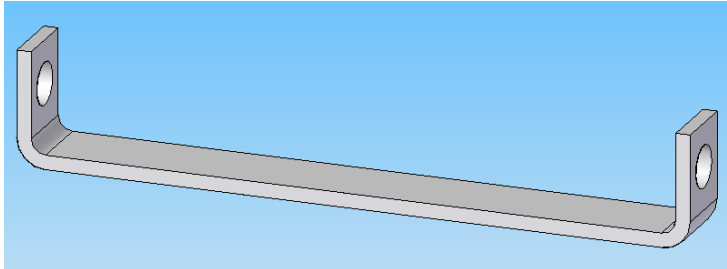


Figura 47. Unión lateral brazo horizontal.



Las figuras 45, 46 y 47 son elaboradas en aluminio, la figura 45 tiene un espesor de 6mm y es la parte principal de las pinzas, es necesario aclarar que se elaboran dos piezas iguales para proseguir a su ensamble y tener las piezas completas, la figura 46 de 9mm de espesor es el cuerpo del brazo, el brazo horizontal, se elaboran también 2 piezas iguales y se da lugar a su ensamble van sujetas a los acoples mostrados en la figura 40 y 41; la figura 47 de 3mm de espesor son unas uniones para las dos laminas mostradas en la figura 46 para evitar su torsión a lo largo del tiempo de trabajo.

Figura 48. Empack inferior.

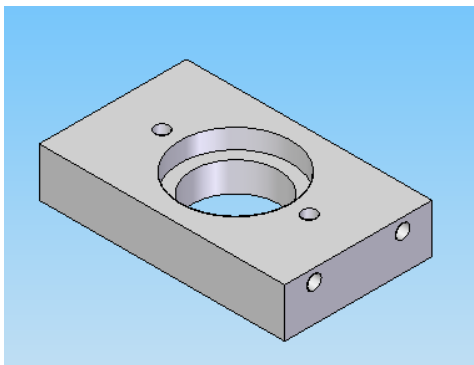
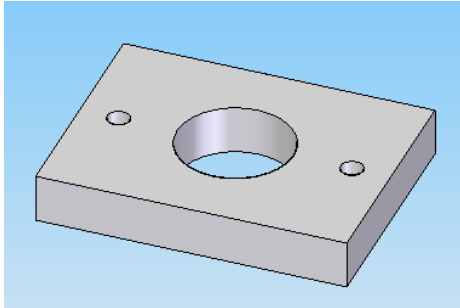


Figura 49. Empack superior.



Las Figuras 48 y 49 muestran piezas elaboradas en empack por su facilidad de manejo y su disponibilidad en el mercado, las piezas ilustradas en las Figuras 50 y 51 son elaboradas en madera, las piezas de la Figuras 48 y 49 sirven para sujetar el acople del motor que permite el movimiento giratorio, en la Figura 46 se observa el alimentador de la piezas a revestir y la Figura 47 muestra el soporte para los beackers.

Figura 50. Porta laminas.

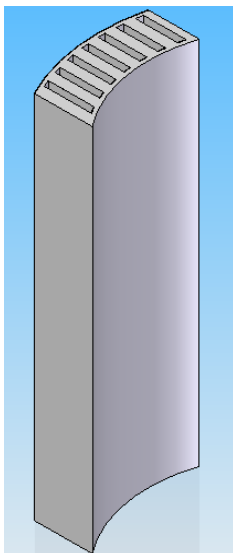


Figura 51. Porta beackers.

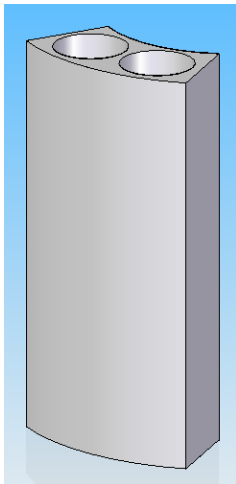
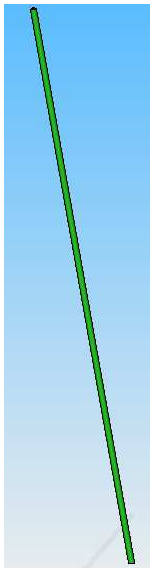


Figura 52. Guía.



La Figura 52 muestra una de las guías y la Figura 53 ilustra el tornillo, ambas en material SAE 4340, el tornillo será enviado a mecanizar en CNC según los cálculos ya mostrados.

Figura 53. Tornillo sin fin.



Este brazo robótico estará sometido a temperaturas alrededor de 1100°C, temperatura que excede el punto de fusión del aluminio, por esto se ha determinado realizar un recubrimiento que está a cargo de la empresa DECAP ubicada en Barcelona, ellos venden mantas que soportan 1100°C de forma continua que son las JT 1200 HT (Estándar) cuyas características se muestran a continuación:

Artículo: JT 1200 HT (Estándar)

Para las mantas serie S535

Tamaño de los rollos: 0,9m de ancho x 50 m de largo

Peso: 1250 g/m²

Tejido: Breves períodos de uso hasta 1300°C.

Uso constante hasta 1100°C

- Fibra de silicato con un diámetro del filamento de 9 µm.
- Los humos no son nocivos ni tóxicos cuando se calienta, libre de amiantos, altamente resistente a la abrasión y al desgaste.
- Material básico suave con una capa rígida de alta temperatura.
- Peso: 650 g/m² y 1250 g/m²
- Grosor del material: 0,7 mm y 1,4 mm

Esta manta será utilizada por ellos para realizar el recubrimiento que será en forma de vestido para el brazo garantizando una protección efectiva, este recubrimiento tendrá una apariencia similar a la que se puede apreciar en la Figura 54.

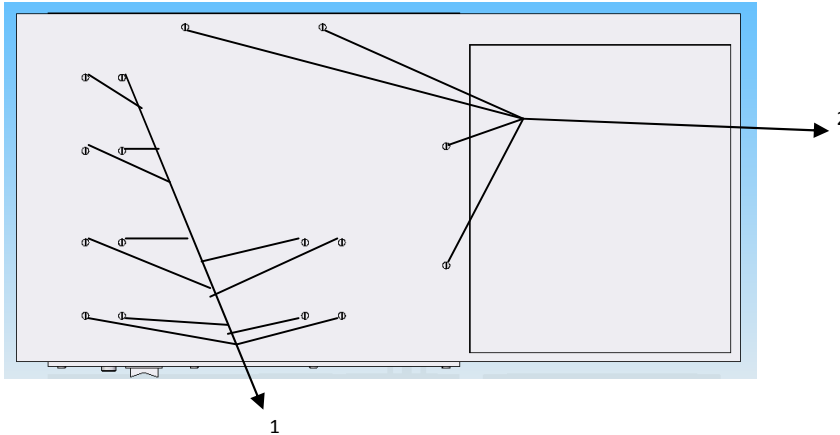
Figura 54. Ejemplo recubrimiento brazo robótico.



Fuente: DECAP. Técnicas de Aislamiento. Disponible en internet: <http://www.decap.com>

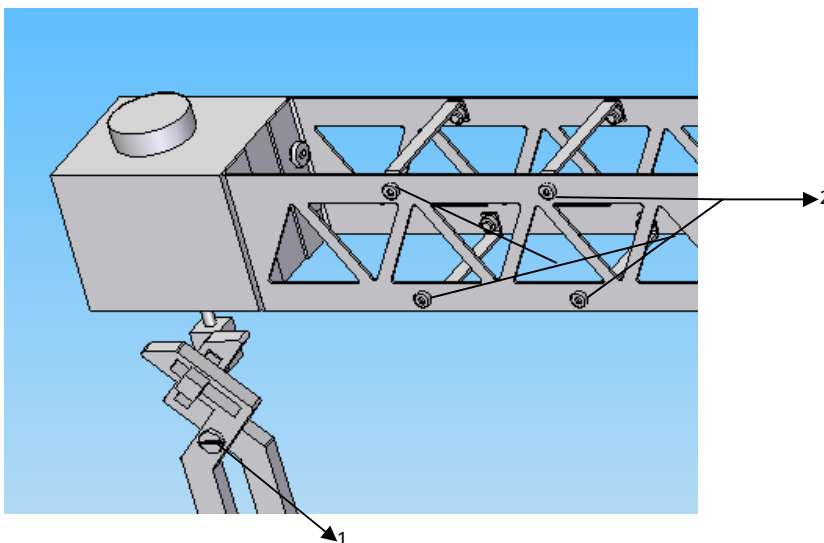
Para realizar un correcto ensamble es necesario hacer uso de tornillos, tuercas y arandelas, pero estos no pueden ser todos iguales, debido a que en cada parte del brazo el tornillo está haciendo una labor específica, a continuación se describe el tipo de tornillo necesario en cada parte del dispositivo, mediante la Figura 55.

Figura 55. Ubicación tornillería base.



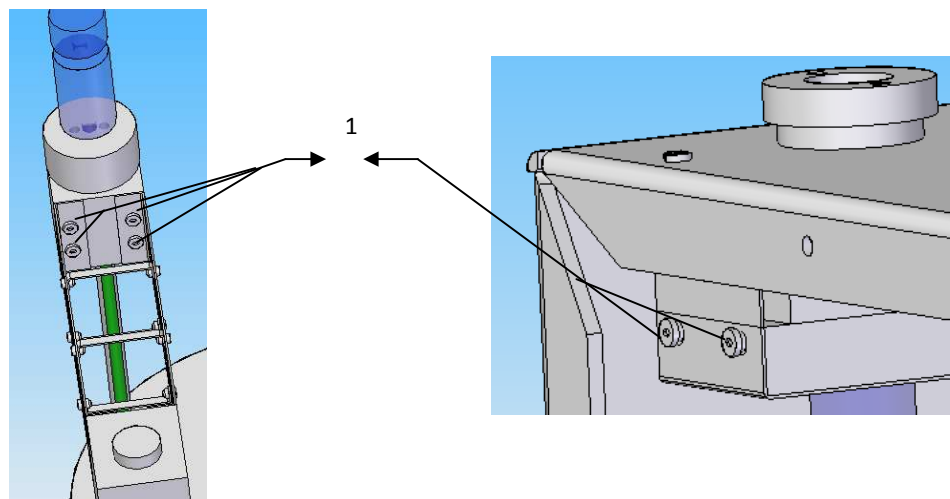
En la Figura 55 se puede observar una vista de la parte inferior del brazo en donde se encuentran doce tornillos demarcados con el número uno y cuatro con el número dos, estos diez y seis tornillos tienen en común que son de $\frac{1}{4}$ de pulgada de 0,71 in (18mm) de longitud, ranurados y planos pues se necesita una superficie completamente plana ya que sobre esta parte es que se encuentra diseñado el brazo robótico. Los que tienen el número uno son tornillos de máquina auto machuelantes ya que estos soportan las plaquetas de los circuitos eléctricos, los que tienen el número dos son pernos con tuerca de cierre elíptica para evitar que se afloje por vibraciones.

Figura 56. Ubicación tornillería en el brazo horizontal y pinzas.



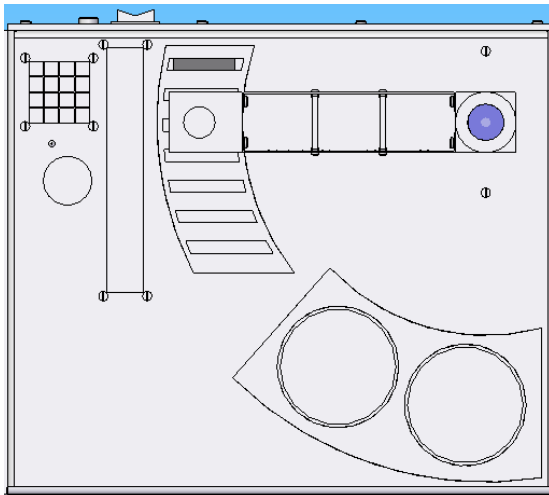
El tornillo demarcado con el numero uno en la Figura 56 presenta las mismas características que los que tienen el número uno en la Figura 55, los que tienen el numero dos son ocho pernos de 1/8" con tuerca de cierre elíptica, de 1/4" (6mm) de longitud con cabeza para dado ya que es necesario que estos sean apretados con un par de torsión suficiente para evitar el aflojamiento de los lazos que permiten que el brazo no se doble en caso dado de que se le ejerza una fuerza indeseada.

Figura 57. Ubicación tornillos de maquina.



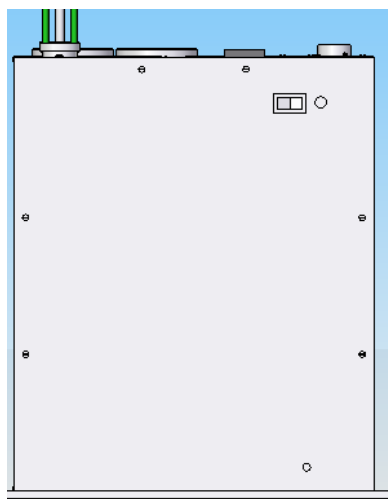
Los tornillos demarcados en la Figura 57 son doce tornillos de máquina de 1/4" con cabeza para dado ya que es necesario que estos sean apretados con un par de torsión suficiente para evitar el aflojamiento, presentan una longitud de 1/2" aproximadamente (12mm).

Figura 58. Ubicación tornillería en vista superior.



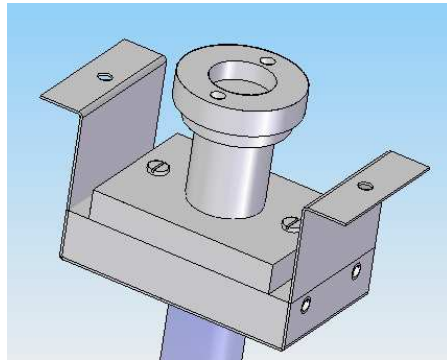
En la figura 58 se observa una vista superior del brazo robótico los diez tornillos que se pueden percibir son pernos de $\frac{1}{4}$ " con $\frac{1}{2}$ " (10mm) de longitud, cabeza ranurada y tuerca de sujeción.

Figura 59. Ubicación tornillería en tapa de la base.



Los seis tornillos que se observan en la figura 59 son tornillos de maquina automachuelantes de $\frac{1}{4}$ " con $\frac{1}{2}$ " (10mm) de longitud y cabeza ranurada.

Figura 60. Ubicación tornillería en soporte.



El par de tornillos que se pueden observar en la Figura 60 son tornillos de máquina de $\frac{1}{4}$ " de diámetro, de 0,89 in de longitud (22,7mm) y cabeza ranurada.

Los rodamientos son una parte importante en el diseño del brazo robótico JOSI 2.0, pues son ellos los que permiten una rotación eficiente disminuyendo el coeficiente de fricción, existen rodamientos axiales y rodamientos radiales, los primero de ellos soportan fuerzas axiales y hacen las veces de cojinetes mientras que los radiales soportan fuerzas radiales aunque existen unos rodamientos capaces de soportar de manera aceptable fuerzas axiales y radiales. En el diseño de este brazo se han utilizado cuatro rodamientos, dos radiales en los extremos del tornillo sin fin que se pueden observar en la figura 61 y dos utilizados en el soporte, uno axial y otro radial, estos pueden observarse en la figura 62.

Figura 61. Rodamientos del tornillo sin fin.

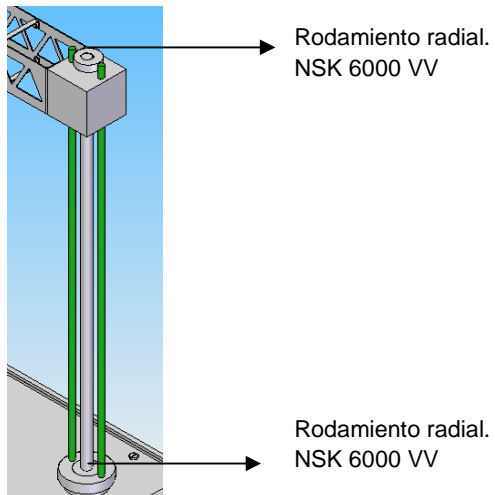
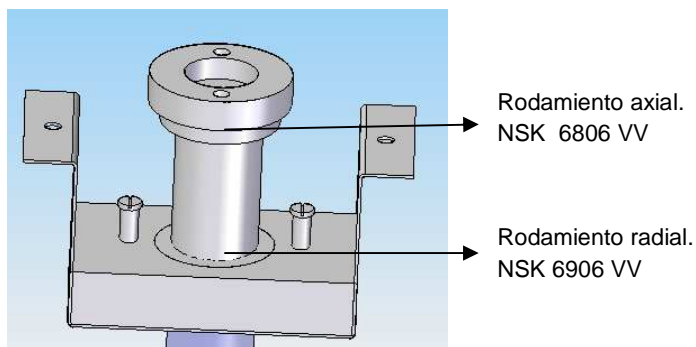


Figura 62. Rodamientos en el soporte.



A continuación en la tabla 20 se pueden observar las principales características de los rodamientos elegidos.

Tabla 20. Características de los rodamientos

<div>Tipo de rodamiento</div> <div>Característica</div>	De bolas de ranura profunda	Rodamientos de rodillos esféricos	De bolas de contacto angular	De bolas de empuje
Carga radial	Aceptable	Excelente	Bueno	Imposible
Carga axial	2 Dir. Aceptable	2 Dir. Aceptable	1 Dir. B	1 Dir. Bueno
Cargas mixtas	Aceptable	Bueno	Bueno	Imposible
Alta velocidad	Excelente	Aceptable	Excelente	Imposible
Alta precisión	Excelente		Excelente	Bueno
Par y ruido bajos	Excelente			

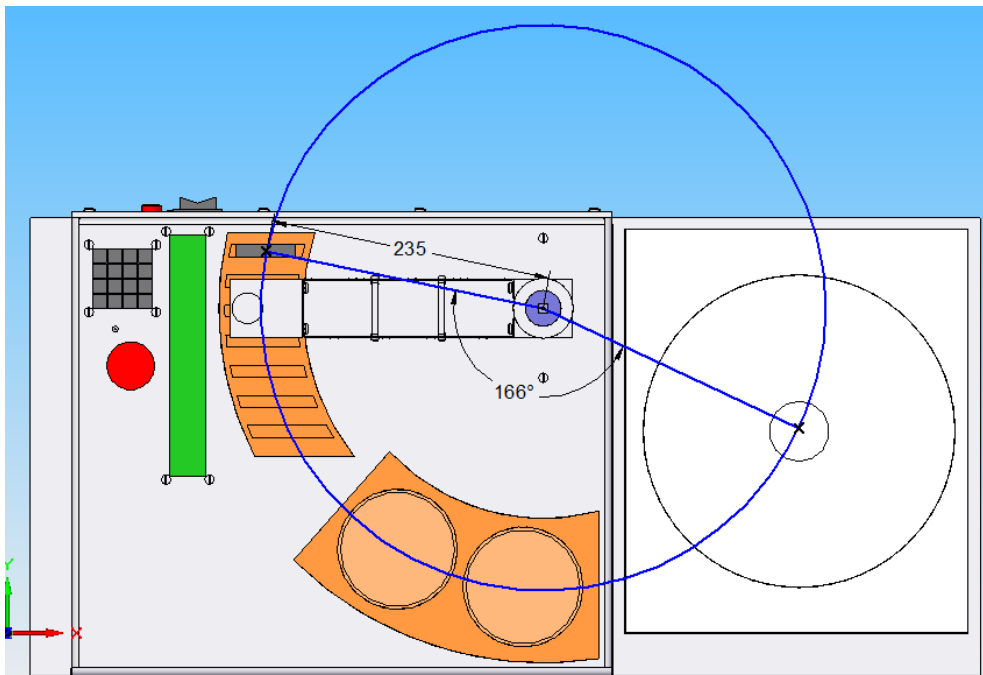
Fuente: NSK motion and control. Rodamientos

Con base en la tabla 20, se decide trabajar con rodamientos de bolas de ranura profunda ganándole al rodamiento de bolas con contacto angular el cual posee excelentes prestaciones, debido a los tamaños disponibles en el mercado, la referencia de los dos pares de rodamientos son: NSK 6000 VV el cual posee un diámetro interno de 10mm, un diámetro externo de 26mm, una altura de 8 mm. Este rodamiento presenta aceptables condiciones en cuanto a los tipos de cargas y su gran ventaja es la posibilidad de aceptar cargas axiales en ambas direcciones, por eso la pareja de rodamientos axiales de JOSI 2.0 también es de bolas de ranura profunda, con 30mm de diámetro interno, 42 de diámetro externo, y un espesor o altura de 7mm. Cuya referencia en el catalogo de la NSK motion and Control es 6806 VV, ambos rodamientos ya contienen su propia lubricación y sellado.

13.1 ÁREA DE TRABAJO DE JOSI 2.0

Esta área o espacio de trabajo hace alusión a todos los sitios posibles donde puede llegar a situarse el punto de referencia del elemento terminal. Debido a la composición cilíndrica de la morfología de JOSI 2.0, su área de trabajo queda demarcada por el perímetro de la circunferencia de radio del brazo horizontal, es decir 235mm. En la Figura 63 se puede apreciar esta área de trabajo para el brazo robótico de Sol Gel.

Figura 63. Área de trabajo JOSI 2.0



Este proyecto no se encuentra tan solo compuesto de partes mecánicas, también cuenta con parte electrónica, y control, la lista de estos materiales se presenta a en la Tabla 21.

Tabla 21. Elementos electrónicos y de control.

CANTIDAD	PRODUCTO
1	Transformador 5 A
2	Puente de diodos 5 A
2	Capacitor 2200uF
2	Capacitor 100nF
2	Capacitor 10uF
2	Capacitor 15pF
4	Transistor 2N2222A
1	Fusible 500mA
1	Fusible 3,5 A
1	Lm7805
1	Lm7812
2	SCR C106
2	Zenner 5,6V
2	Transistor Tip31
2	Transistor Tip32
5m	Cable de bus
1	PIC 16F877
1	LCD 2x40
1	Teclado
1	Cristal 4MHz
1	Servo Motor serie 9234 brush DC (Ver anexo 10)
1	Slotless Bldc Motor referencia BI-04-100-0.30 (Ver anexo 11)
1	Ledex tipo Push referencia 195226 2 25. (Ver anexo 8)
1	Encoder
2m	Cable dúplex WG calibre 12
1	Enchufe macho
2	Resistencia 470Ω a ½ watt
2	Resistencia 330Ω a ½ watt
2	Resistencia 5KΩ a ½ watt
2	Resistencia 10KΩ a ½ watt
2	Resistencia 1KΩ a ½ watt
1	Resistencia 28KΩ a ½ watt
1	Resistencia 65KΩ a ½ watt

El diseño para la manufactura no es tan solo mencionar las piezas necesarias, materiales y dimensiones para el desarrollo del proyecto, se trata también de costos en los cuales intervienen los precios en el mercado de cada una de las partes, ya sea que se compren estándares o sea necesario su mecanizado por terceros o no. A continuación se presenta la tabla 22 en donde se mencionan los costos de manufactura (Estos costos están sujetos a modificaciones)

Tabla 22. Costos de fabricación.

CANTIDAD	PRODUCTO	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
	SOFTWARE		
	Solid Edge V19*	0	0
	Proteus*	0	0
	MpLab*	0	0
	CCW*	0	0
	Quemador BK Precision*	0	0
	Microsoft Office 2007	0	0
	ELECTRONICA		
1	Transformador 5 A	65.000	65.000
2	Puente de diodos 5 A	1.200	2.400
2	Capacitor 2200uF	1.600	3.200
2	Capacitor 100nF	100	200
2	Capacitor 10uF	100	200
2	Capacitor 15pF	100	200
4	Transistor 2N2222A	400	1.600
1	Fusible 500mA	200	200
1	Fusible 3,5 A	200	200
1	Lm7805	1.000	1.000
1	Lm7812	1.200	1.200
2	SCR C106	1.100	2.200
2	Zenner 5,6V	250	500
2	Transistor Tip31	1.000	2.000
2	Transistor Tip32	1.000	2.000
5m	Cable de bus	1.200	6.000
1	PIC 16F877	17.500	17.500
1	LCD 2x40	25.000	25.000
1	Teclado	12.000	12.000
1	Cristal 4MHz	900	900
1	Pulsador pequeño	300	300
1	Pulsador Grande	1.000	1.000
2	L298N	16.000	32.000
1	Servo Motor serie 9234 brush DC (Ver anexo 10)	140.000	140.000
1	Slotless Bldc Motor referencia BI-04-100-0.30 (Ver anexo 11)	140.000	140.000
1	Ledex tipo Push referencia 195226 2 25. (Ver anexo 8)	100.000	100.000

1	Encoder	150.000	150.000
2m	Cable dúplex WG calibre 12	2.000	4.000
1	Enchufe macho	1.000	1.000
2	Resistencia 1KΩ a ½ watt	100	200
1	Resistencia 28KΩ a ½ watt	100	100
1	Resistencia 65KΩ a ½ watt	100	100
	Subtotal		712.200
	MAQUILADO		
1	Acople inferior tonillo sin fin (Anexo12)	44.000	44.000
1	Acople Pinzas (Anexo13)	14.000	14.000
1	Base del robot (Anexo 14)	410.000	410.000
1	Base (Anexo 15)	340.000	340.000
1	Empack superior(Anexo 16)	95.000	95.000
1	Empack inferior (Anexo 17)	95.000	95.000
2	Guía (Anexo 18)	18.000	36.000
2	Lateral brazo horizontal(anexo 19)	37.500	75.000
2	Pinza del gripper(Anexo 20)	24.500	45.000
1	Porta Lamina 200mm (Anexo 21)	50.000	50.000
1	Porta Lamina 50mm (Anexo 22)	50.000	50.000
1	Porta Beacker (Anexo 23)	50.000	50.000
1	Soporte acople inferior tonillo sin fin(Anexo 24)	345.000	345.000
1	Tapa acople pinzas (Anexo 25)	15.000	15.000
1	Acople superior tornillo sin fin (Anexo 26)	25.000	25.000
1	Puerta desmontable de la base (Anexo 27)	230.000	230.000
1	Tornillo sin fin (Anexo 28)	35.000	35.000
1	Union1. Brazo Horizontal (Anexo 29)	125.000	125.000
1	Union2. Brazo Horizontal (Anexo 30)	145.000	145.000
4	Unión Lateral brazo horizontal (Anexo 31)	15.000	60.000
	Tornillería		50.000
	Subtotal		2.334.000
	HERRAMIENTA		
1	Multímetro	120.000	120.000
2	Destornillador	10.000	20.000
1	Alicate	10.000	10.000
1	Martillo	15.000	15.000
1	Hombre Solo	25.000	25.000
2	Pelacable	8.000	16.000
2	Cautín	18.000	36.000
2	Lija	1.000	2.000
1	Estaño	20.000	20.000
2	Pinza	8.000	8.000
2	Desoldador	15.000	15.000

	Subtotal		287.000
	Recubrimiento para la temperatura		1.500.000
	TOTAL		4.833.200

*Prestados por la Universidad Autónoma de Occidente Cali-Colombia

El ensamble completo de este brazo robótico (Ver Anexo 32) se muestra en el Isométrico. Este brazo: JOSI 2.0 posee una masa total aproximada de 32,7 Kilogramos, al momento de su construcción el peso podría resultar menor, debido a que con el fin de realizar los cálculos se tomaron partes macizas, sin las perforaciones de cada parte.

A su vez, el proceso de ensamble presenta cierta dificultad debido a que es necesario utilizar herramientas pero está diseñado de tal forma que este sea intuitivo permitiendo a ciertas partes ser autodirigibles, es decir, no tienen orientación o esta es evidente, se ha preferido trabajar con tornillería que con partes auto ajustables ya que este dispositivo se mantendrá en ambientes hostiles debido a la temperatura, es conocido que los materiales se dilatan a mayores temperaturas por lo cual es mejor que estén sujetos con algo más que su propia geometría.

14. DISEÑO PARA LA MANTENIBILIDAD

En el momento en que se adquiere un producto mecatrónico no solo se debe tener en cuenta el precio de compra sino que también es necesario tener en cuenta los costos en los que se incurre por el mantenimiento, ya que estos productos por lo regular necesitan una limpieza periódica mas los mantenimientos predictivos o correctivos necesarios para garantizar su funcionamiento optimo a lo largo del tiempo.

Debido a que el mantenimiento se realiza con cierta frecuencia se ha decidido en el diseño del brazo robótico JOSI 2.0 permitir el fácil acceso a la parte electrónica y a los motores para garantizar que en cada procedimiento de limpieza o mantenimiento sea realizado de una forma optima y eficiente sin necesidad de desensamblar todo el producto y aquellas partes que exijan una desfragmentación para su mantenimiento sean de fácil re-ensamble, el mantenimiento será llevado a cabo por el equipo de diseño de manera correctiva, pero es importante hacer saber al operador del brazo que debe revisar la lubricación del tornillo, la frecuencia del mantenimiento se determinara según el uso regular que se le dé al brazo puesto que dependiendo de este así será su desgaste.

En la realización del mantenimiento es necesario tener en cuenta ciertos costos en los que se incurren como son los costos inmediatos de mantenimiento del brazo, costos de capital y costos de oportunidad, los costos de capital son aquellos activos fijos necesarios para cubrir fallos y piezas de repuesto, los costos de oportunidad son el valor de la producción perdida por el fallo de la maquina; estos se pueden ver parcialmente segregados en la tabla 23, todos están sujetos a cambios.

Tabla 23. Costos de mantenimiento.

TIPO DE COSTOS	VALOR (\$)
COSTOS INMEDIATOS	
Mano de obra (por hora)	50.000
Herramienta	100.000
Subtotal	150.000
COSTOS DE CAPITAL	
Solenoides	100.000
Motor de rotación	140.000
Motor de traslación	140.000
Unión 1. Brazo horizontal	125.000
Acople pinzas	14.000
Acople inferior tornillo sin fin	345.000
Aceite de lubricación del tornillo	10.000
Recubrimiento para la temperatura	1.500.000
Reguladores de voltaje	1.200
Capacitor	100
Fusible	200
SCR	1.100
Subtotal	2.376.600
COSTOS DE OPORTUNIDAD	
Solución	500.000
Lamina a recubrir	150.000
Subtotal	650.000
COSTOS ADICIONALES	100.000
TOTAL	3.276.600

Se ha definido una categoría de costos como costos adicionales para cubrir las ocasiones en que falle alguna parte que no se encuentre presupuestada.

15. CONCLUSIONES

Realizando un correcto seguimiento de la metodología de diseño concurrente se pueden llevar a cabo proyectos realmente ejecutables, efectivos y eficientes debido a que esta metodología permite encontrar y enmendar los errores cometidos a lo largo del proyecto sin importar que tan avanzado se encuentre este.

En el diseño de un dispositivo mecatrónico, como es el caso de JOSI 2.0, es importante recordar que los cálculos mecánicos son de gran necesidad y utilidad, pues son ellos los que permiten realizar una estructura capaz de soportar y ejecutar todas las funciones deseadas, así mismo el control, la parte electrónica, software y firmware deben ser diseñados con dedicación pues sin ellos no se logra un producto completamente mecatrónico.

En el diseño para manufactura es necesario contar con cierta experiencia sobre los materiales que se encuentran en el comercio o en su defecto contar con la asesoría de alguien que la posea pues existen ciertas diferencias entre lo teórico y lo que se encuentra en el mercado nacional o lo que usualmente se utiliza para ciertas estructuras. Igualmente se debe tener cuidado en el manejo de las unidades ya que Colombia es un país en el que se manejan las medidas tanto en pulgadas como en milímetros dependiendo de la pieza y del lugar donde se desee comprar.

Cada una de la parte que conforma el diseño mecánico y estructural de JOSI 2.0 fue calculado mediante ecuaciones de estructuras completando así el diseño del sistema mecánico.

Los diseños electrónicos y de control de JOSI 2.0 fueron finalizados en su totalidad, pero debido a la necesidad de la implementación de la programación del microcontrolador no es posible realizar una simulación completa del proceso.

Como resultado del proceso de diseño del brazo robótico para la automatización del proceso de tratamiento de materiales Sol Gel Dip Coating JOSI 2.0 se obtuvo un brazo de morfología cilíndrica con 2 grados de libertad, apoyado en una base especialmente diseñada para lograr la optimización en el proceso de tratamiento de materiales de Sol Gel.

BIBLIOGRAFÍA

BARRIENTOS, A.; PEÑIN, L. F.; BALAGUER, C.; ARACIL, Rafael. Fundamentos de robótica. Mc Graw Hill. España 1997.

CASTAÑEDA, C. J. Fabricación de materiales amorfos y policristalinos con la ruta Sol-Gel .Centro Universitario de Los lagos, Universidad de Guadalajara. México.

DECAP. Técnicas de Aislamiento. Disponible en internet: <http://www.decap.com>

LOTHERS, J.E. Diseño de estructuras de acero. Compañía editorial Continental, S.A. México 1961.

MENDEZ, ARNALDO. ¿MECATRONICA?. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Arquitectura de productos. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Diseño Industrial. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Diseño para mantenimiento. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Diseño para manufactura. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Especificaciones del producto. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Generación de Conceptos. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Identificación de necesidades. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Ingeniería Inversa. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Integración sistemas mecatrónicos. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Otros aspectos del diseño. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Proceso de Diseño y Desarrollo. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Prototipado. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

(-----) Selección de Conceptos. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali 2006.

MOTION AND CONTROL NSK. Rodamientos. España septiembre 1993 Pr Np V0993. NSK Ltda.

NAVAS ESCOBAR. Andrés Felipe, ROJAS MARTINEZ. Edwin Andrés, GALVIS BURBANO. Nathalia. Robot manipulador de tipo semindustrial. Trabajo de Grado. Profesional en Ingeniería Mecatrónica. Santiago de Cali, Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingenierías. Departamento de Automática y electrónica. 5 agosto de 2002.

NAVAS ESCOBAR, Andrés Felipe. Técnicas de diseño mecatrónico aplicadas a la implementación de robots autónomos. Robotek, LTDA.

NORTON ROBERT L. Worcester Polytechnic Institute. Diseño de maquinas. México 1999 Prentice HALL Hispanoamericana SA. ISBN 970 17 0257 3.

RAE: Diccionario libre de la real academia española [en línea]. Disponible en internet: <http://rae.es>.

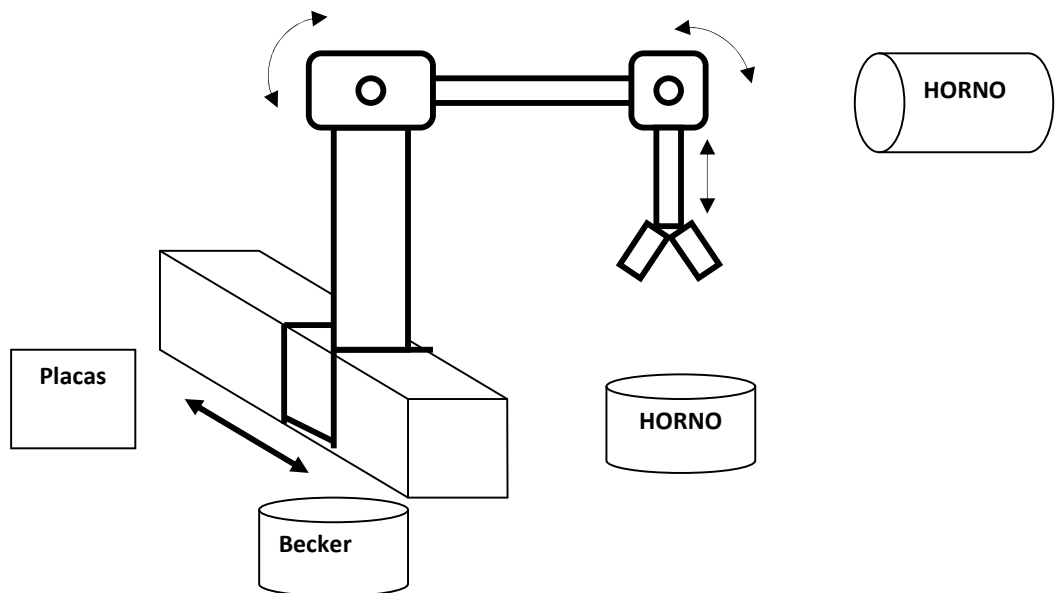
ROBERT, R. Física. Cia. Editorial Continental S.A. México 1980.

SERWAY, R.A. Física I. Editorial Thomson.2003.

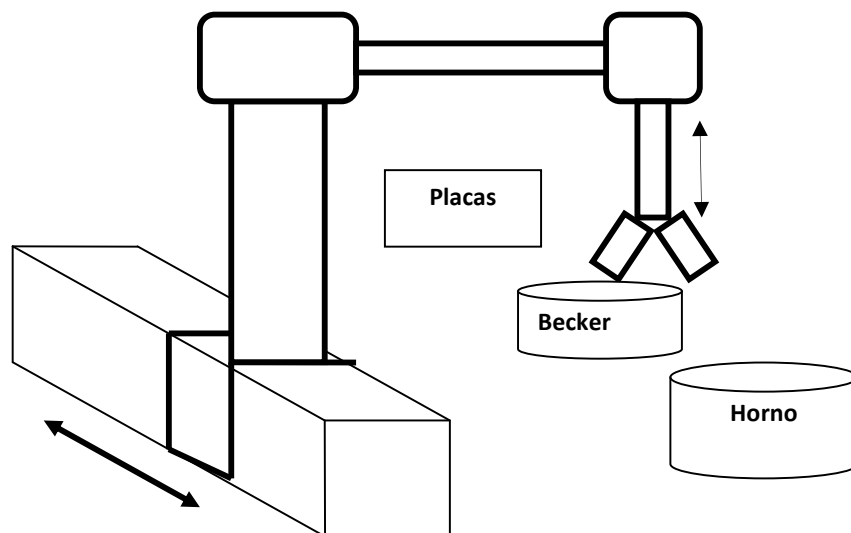
TODO ROBOT: Diseño de un brazo mecanico.pdf. Noviembre 08 de 2000.

Wikipedia: la enciclopedia libre [en línea]. Florida: Wikimedia Foundation, 2006. Disponible en Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>.

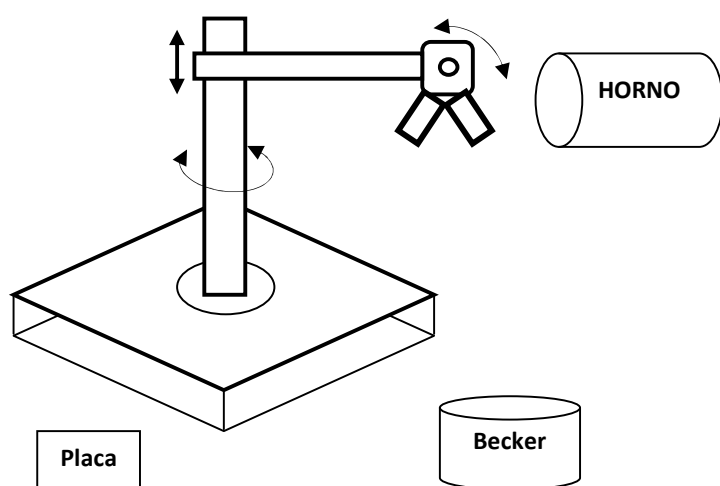
Anexo 1. Opción 1 desplazar la muestra



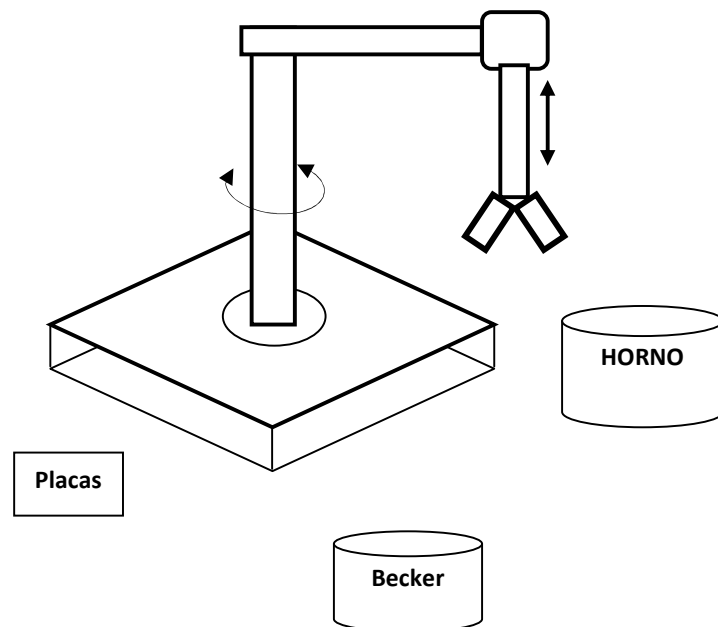
Anexo 2.Opción 2 desplazar la muestra



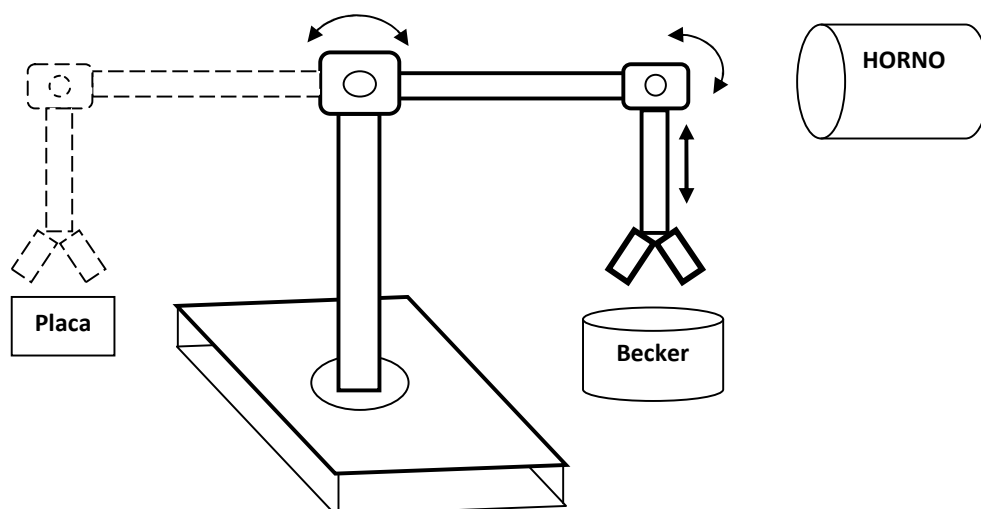
Anexo 3. Opción 3 desplazar la muestra



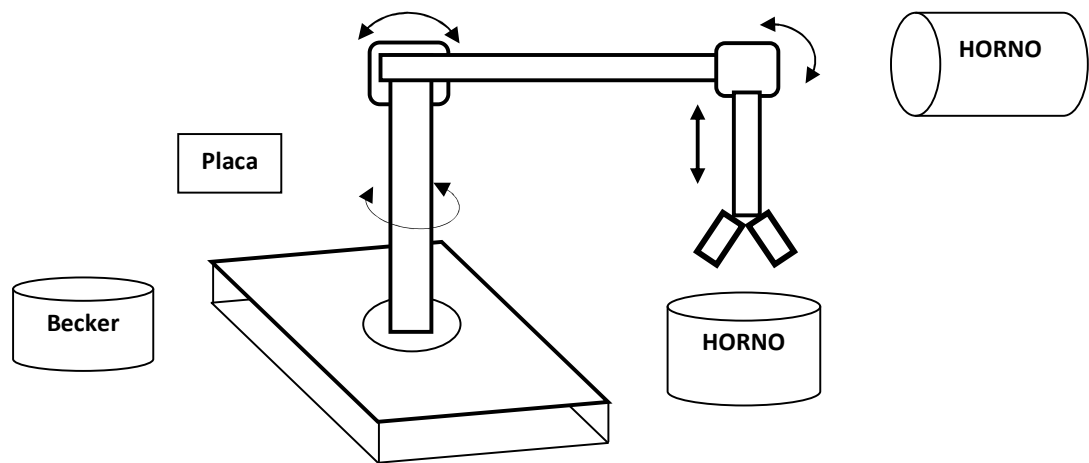
Anexo 4. Opción desplazar la muestra



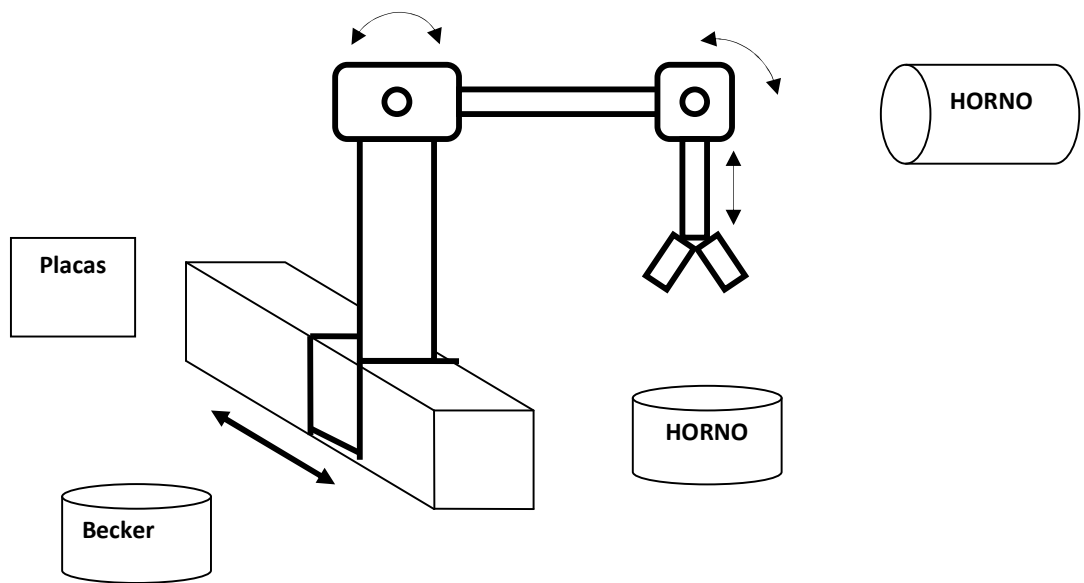
Anexo 5. Opción 5 desplazar la muestra



Anexo 6: Opción 6 Desplazar la Muestra



Anexo 7. Opción 7 desplazar la muestra



Anexo 8. Datasheet pistón de JOSI 2.0

STA® Pull Tubular Solenoids — 26 mm Dia. x 52 mm

Part Number: 195226 - **X** **XX**

All catalogue products manufactured after
April 1, 2006 are RoHS Compliant

Coil AWG Number
(from performance chart below)

Plunger Configurations and anti-rotation flat on mounting

- 1 Flat face plunger without anti-rotation flat
- 2 60° plunger without anti-rotation flat
- 5 Flat face plunger with anti-rotation flat
- 6 60° plunger with anti-rotation flat

LINEAR Tubular

Performance

Maximum Duty Cycle	100%	50%	25%	10%
Maximum ON Time (sec) when pulsed continuously ¹	∞	360	32	8
Maximum ON Time (sec) for single pulse ²	∞	470	120	32
Watts (@ 20°C)	10	20	40	100
Ampere Turns (@ 20°C)	1166	1649	2332	3688
Coil Data				
awg (0XX) ³	Resistance (@20°C)	# Turns ⁴	VDC (Nom)	VDC (Nom)
23	1.96	536	4.4	6.3
24	2.69	600	5.2	7.3
25	4.89	840	7.0	9.9
26	8.44	1128	9.2	13.0
27	11.50	1260	10.7	15.2
28	19.20	1645	13.8	19.6
29	31.20	2104	17.7	25.0
30	49.60	2646	22.0	31.0
31	77.40	3280	28.0	39.0
32	119.00	4026	35.0	49.0
33	202.00	5317	45.0	64.0

¹ Continuously pulsed at stated watts and duty cycle

² Single pulse at stated watts (with coil at ambient room temperature 20°C)

³ Other coil awg sizes available — please consult factory

⁴ Reference number of turns

Specifications

Dielectric Strength	1000 VRMS
Recommended Minimum Heat Sink	Maximum watts dissipated by solenoid are based on an unrestricted flow of air at 20°C, with solenoid mounted on the equivalent of an aluminium plate measuring 102 mm square by 3.2 mm thick
Coil Resistance	±5% tolerance
Holding Force	Flat Face: 61.5 N @ 20°C 60°: 29.4 N @ 20°C
Weight	197.3 g
Plunger Weight	45.4 g
Dimensions	See page F30

How to Order

Add the plunger configuration number and the coil awg number to the part number (for example: to order a unit with a 60° plunger rated for 21 VDC at 25% duty cycle, specify 195226-227).

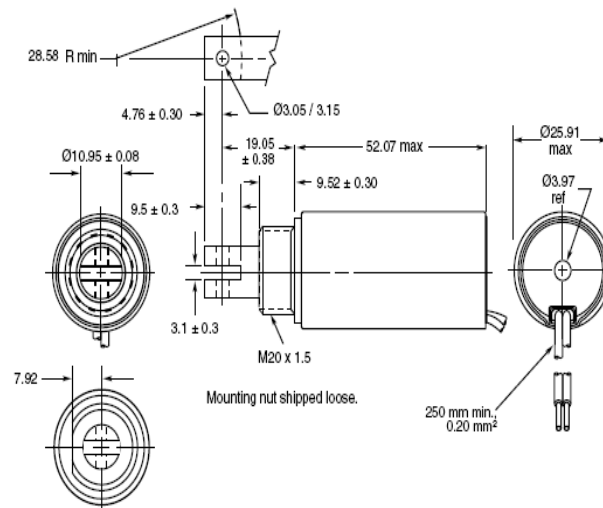
Please see www.ledex.com (click on Stock Products tab) for our list of stock products available through our distributors.

All specifications subject to change without notice.

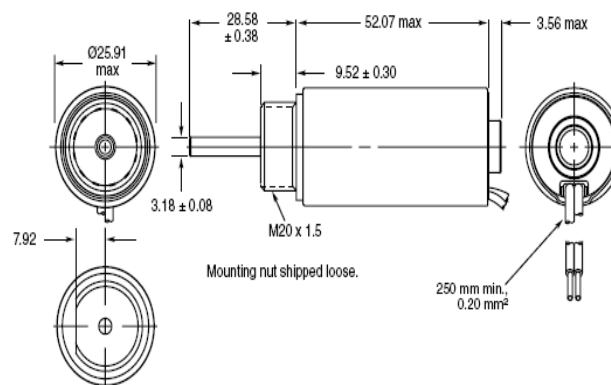
Ledex® Tubular Solenoids Dimensions

mm

STA® Series Pull — 26 mm Dia. x 52 mm



STA® Series Push — 26 mm Dia. x 52 mm



All solenoids are illustrated in energized state

All specifications subject to change without notice.

Anexo 9. Tabla de conversiones de unidades

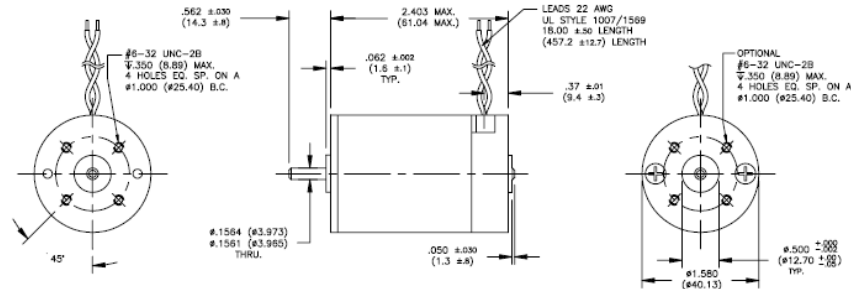
Área				
in^2	x	645,16	=	mm^2
Segundo momento de inercia				
in^4	x	416,231	=	mm^4
in^4	x	$4,162 * 10^{-7}$	=	m^4
m^4	x	$1 * 10^{12}$	=	mm^4
Fuerza				
lb	x	4,448	=	N
N	x	$1 * 10^5$	=	$dyne$
Longitud				
in	x	25,4	=	mm
Masa				
Kg	x	2,205	=	lb
Kg	x	1000	=	lb
Torques y Momentos				
$inlb$	x	0,1138	=	Nm
Nm	x	8,7873	=	$inlb$
Presión y esfuerzos				
psi	x	6.894,8	=	Pa
psi	x	$6,895 * 10^{-3}$	=	MPa
$Kpsi$	x	1.000	=	psi
$\frac{N}{m^2}$	x	1	=	Pa
Volumen				
in^3	x	16.387,2	=	mm^3
cm^3	x	0,061023	=	in^3
m^3	x	$1 * 10^9$	=	mm^3

Fuente: NORTON ROBERT L. Worcester Polytechnic Institute. Diseño de maquinas. México 1999 Prentice HALL Hispanoamericana SA Pág. 1014

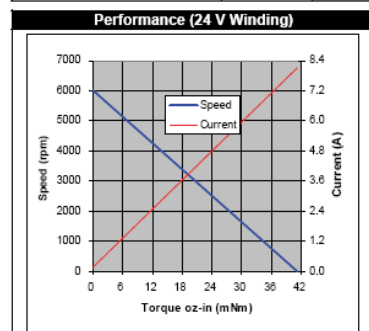
Anexo 10. Datasheet Servo Motor serie 9234 brush DC

9234 SERIES BRUSH DC SERVO MOTOR

PITTMAN®



Motor Data	Symbol	Units	Winding Designation							
			9.55 V	12.0 V	15.2 V	19.1 V	24.0 V	30.3 V	38.2 V	48.0 V
Supply Voltage (Reference)	V_E	V	9.55	12.0	15.2	19.1	24.0	30.3	38.2	48.0
Continuous Torque	T_C	oz-in	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
		Nm	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
Speed @ Cont. Torque	S_C	rpm	5070	5260	5410	5600	5600	5660	5670	5670
Current @ Cont. Torque	I_C	A	4.46	3.53	2.77	2.24	1.75	1.40	1.10	0.88
Continuous Output Power	$P_{O.C}$	W	23	24	24	25	25	26	26	26
Motor Constant	K_M	oz-in/vW	2.7	2.8	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
		Nm/vW	0.019	0.020	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.022
Torque Constant	K_T	oz-in/A	2.04	2.58	3.29	4.07	5.17	6.50	8.22	10.3
		Nm/A	0.0144	0.0182	0.0232	0.0287	0.0365	0.0459	0.0580	0.0730
Voltage Constant	K_E	V/krpm	1.51	1.91	2.43	3.01	3.82	4.81	6.08	7.65
		V s/rad	0.0144	0.0182	0.0232	0.0287	0.0365	0.0459	0.0580	0.0730
Terminal Resistance	R_{TE}	Ω	0.56	0.83	1.26	1.89	2.96	4.62	7.30	11.5
Inductance	L	mH	0.39	0.63	1.02	1.56	2.51	3.97	6.35	10.0
No-Load Current	I_{NL}	A	0.42	0.33	0.26	0.21	0.16	0.13	0.10	0.080
No-Load Speed	S_{NL}	rpm	6050	6020	5990	6090	6030	6060	6040	6030
Peak Current (Stall)	I_{PK}	A	17.1	14.5	12.1	10.1	8.1	6.56	5.23	4.17
Peak Torque (Stall)	T_{PK}	oz-in	33.9	36.4	38.8	40.3	41.1	41.8	42.2	42.3
		Nm	0.240	0.257	0.274	0.284	0.290	0.295	0.298	0.299
Coulomb Friction Torque	T_f	oz-in	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
		Nm	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042	0.0042
Viscous Damping Factor	D	oz-in/krpm	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039
		Nm s/rad	2.6E-06	2.6E-06	2.6E-06	2.6E-06	2.6E-06	2.6E-06	2.6E-06	2.6E-06
Electrical Time Constant	τ_E	ms	0.70	0.76	0.81	0.83	0.85	0.86	0.87	0.87
Mechanical Time Constant	τ_M	ms	11	10	10	10	9.3	9.1	9.0	9.0
Thermal Time Constant	τ_{TH}	min	12	12	12	12	12	12	12	12
Thermal Resistance	R_{TH}	$^{\circ}C/W$	17	17	17	17	17	17	17	17
Max. Winding Temperature	θ_{MAX}	$^{\circ}C$	155	155	155	155	155	155	155	155
Rotor Inertia	J_r	oz-in-sec ²	5.9E-04	5.9E-04	5.9E-04	5.9E-04	5.9E-04	5.9E-04	5.9E-04	5.9E-04
		kg m ²	4.2E-06	4.2E-06	4.2E-06	4.2E-06	4.2E-06	4.2E-06	4.2E-06	4.2E-06
Motor Weight (Mass)	W_M	oz	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
		g	286	286	286	286	286	286	286	286



Standard Features	
• Sintered Bronze Bearings	• Heavy-gauge Steel Housing
• 2-pole Stator	• Silicon Steel Laminations
• Ceramic Magnets	• Copper-graphite Brushes
• 7-slot Armature	• Diamond-Turned Commutator

Complementary Products	
• G42A Planetary Gearbox	• E22A Optical Encoder
• G42B Planetary Gearbox	• E30A Optical Encoder
• G51A Spur Gearbox	• E30B Optical Encoder
	• E35A Optical Encoder

Notes:

¹ All values specified at 25°C ambient temperature and without heat sink.

² Peak values are theoretical and supplied for reference only.

AMETEK®
TECHNICAL & INDUSTRIAL PRODUCTS

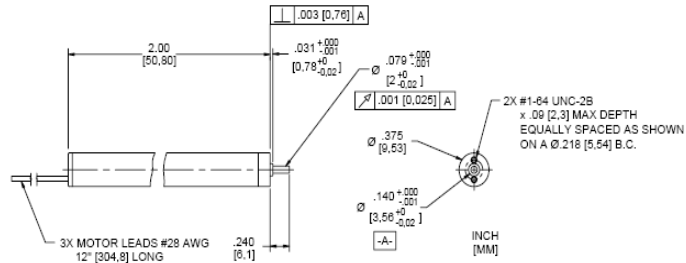
215-256-6601 (USA) • +39 0373 210245 (Europe) • (86-21) 6426 8111 ext 47 (Asia)
www.ametektip.com

Fuente: Ametek Technical & Industrial Products. www.ametektip.com

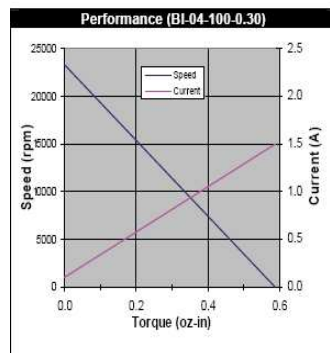
Anexo 11. Datasheet Slotless Bldc Motor referencia BI-04-100-0.30

φ0.375" (φ9.53mm) SERIES SLOTLESS BLDC MOTOR

PITTMAN®



Motor Data	Symbol	Units	Part Number Designation
			BI-04-100-0.30
Supply Voltage (Reference)	V_s	V	7.0
Continuous Torque ³	T_c	oz-in Ncm	0.30 0.42
Speed @ Cont. Torque	S_c	rpm	11200
Current @ Cont. Torque	I_c	A	0.85
Continuous Output Power ²	P_{out}	W	2.5
Motor Constant	K_M	oz-in/V	0.19
		Ncm/V	0.13
Torque Constant	K_T	oz-in/A	0.41
		Ncm/A	0.29
Voltage Constant	K_E	V/krpm	0.30
		V s/rad	0.003
Terminal Resistance	R_{int}	Ω	4.52
Inductance	L	mH	0.088
No-Load Current	I_0	A	0.1
No-Load Speed	S_0	rpm	23330
Peak Current (Stall) ²	I_{pk}	A	1.5
Peak Torque (Stall) ²	T_{pk}	oz-in	0.59
		Ncm	0.42
Electrical Time Constant	τ_e	ms	0.019
Mechanical Time Constant	τ_m	ms	2.5
Thermal Resistance ²	R_{th}	$^{\circ}\text{C/W}$	10.9
Max. Winding Temperature	θ_{max}	$^{\circ}\text{C}$	105
Rotor Inertia	J_r	oz-in-sec ²	1.9×10^{-8}
		kg m ²	1.6×10^{-8}
Motor Weight (Mass)	W_M	oz	0.66
		G	19



Standard Features	
• Shielded Ball Bearings	• 3-Phase Stator
• 2-Pole Rotor	• Sensorless
• Neodymium Magnets	• Stainless Construction

Connection Chart	
Color/Pin	Function
Black	Motor ϕC
Red	Motor ϕA
White	Motor ϕB
No sensors	

Notes:

¹ All values specified at 25°C ambient temperature and without heat sink.

² Peak values are theoretical and supplied for reference only.

³ Recorded at max. winding temperature at 25°C ambient, mounted to a 5"x5"x0.25" heatsink.

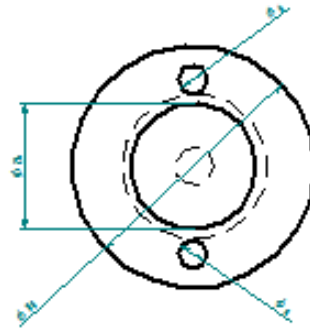
AMETEK®
TECHNICAL & INDUSTRIAL PRODUCTS

215-256-6601 (USA) • +39 0373 210245 (Europe) • (86-21) 6426 8111 ext 47 (Asia)

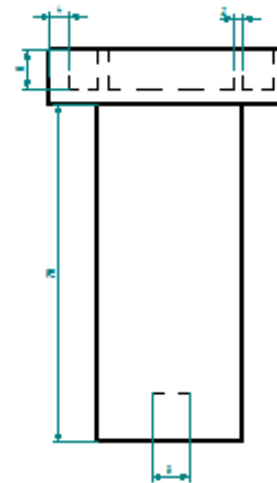
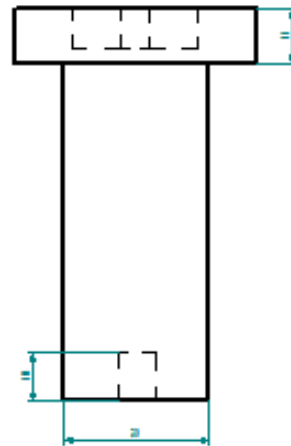
www.ametektip.com

Fuente: Ametek Technical & Industrial Products. www.ametektip.com

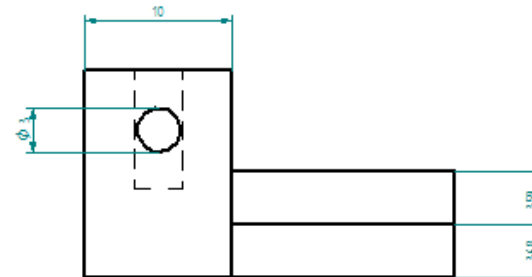
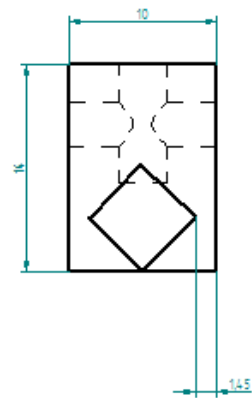
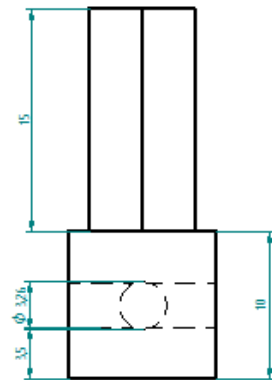
Anexo 12. Plano acople inferior tornillo sin fin



CANTIDAD	MATERIAL
1	Palanquilla SAE 4340 templado y revenido 1200°F

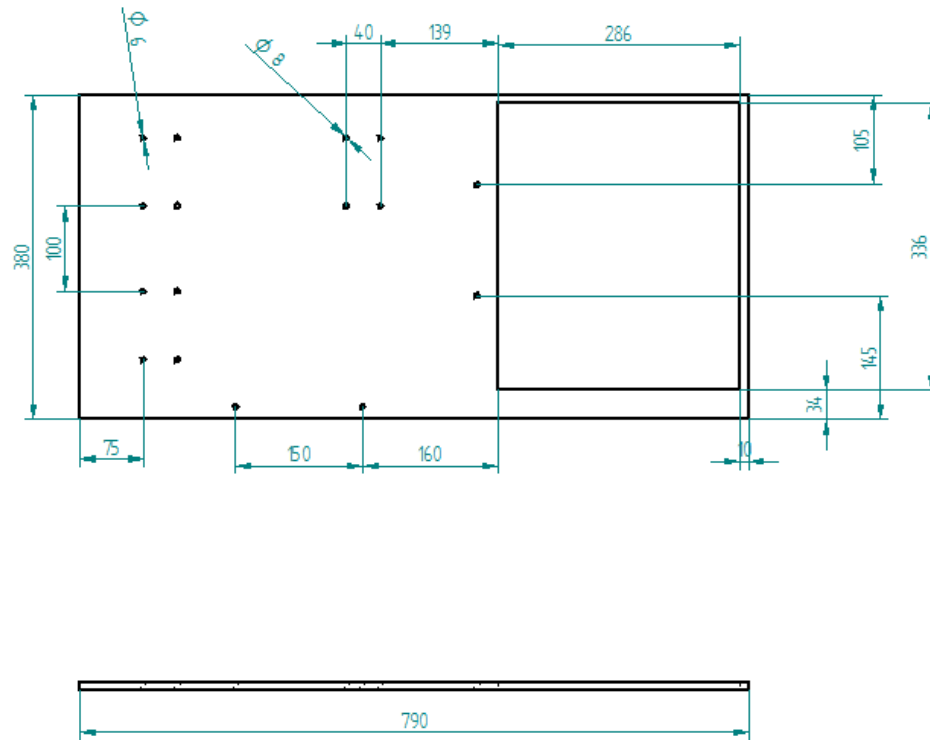


Anexo 13.Plano acople pinzas



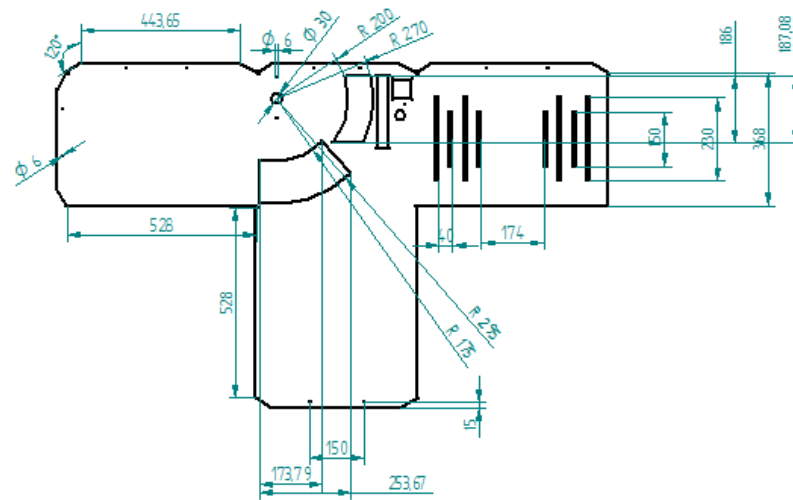
CANTIDAD	MATERIAL
1	Palanquilla SAE 4340 templado y revenido 1200°F

Anexo 14. Plano base del robot



CANTIDAD	MATERIAL
1	Lamina ASTM A-36 calibre 12,7mm (1/2")

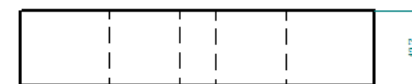
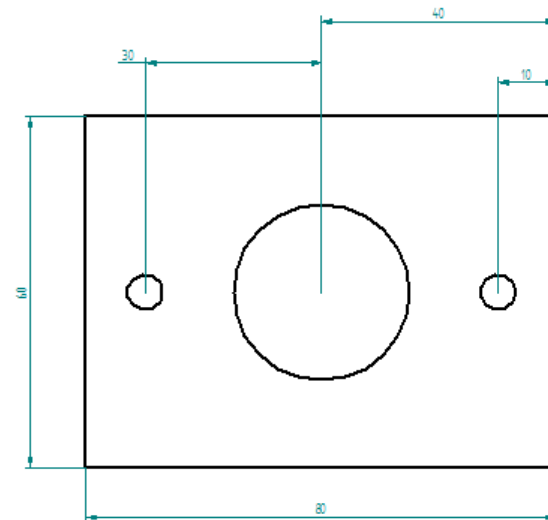
Anexo 15. Plano base



CANTIDAD	MATERIAL
1	Acero cold rolled calibre 14

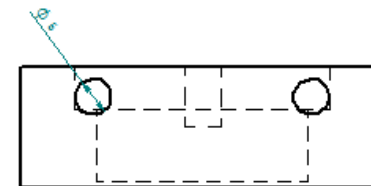
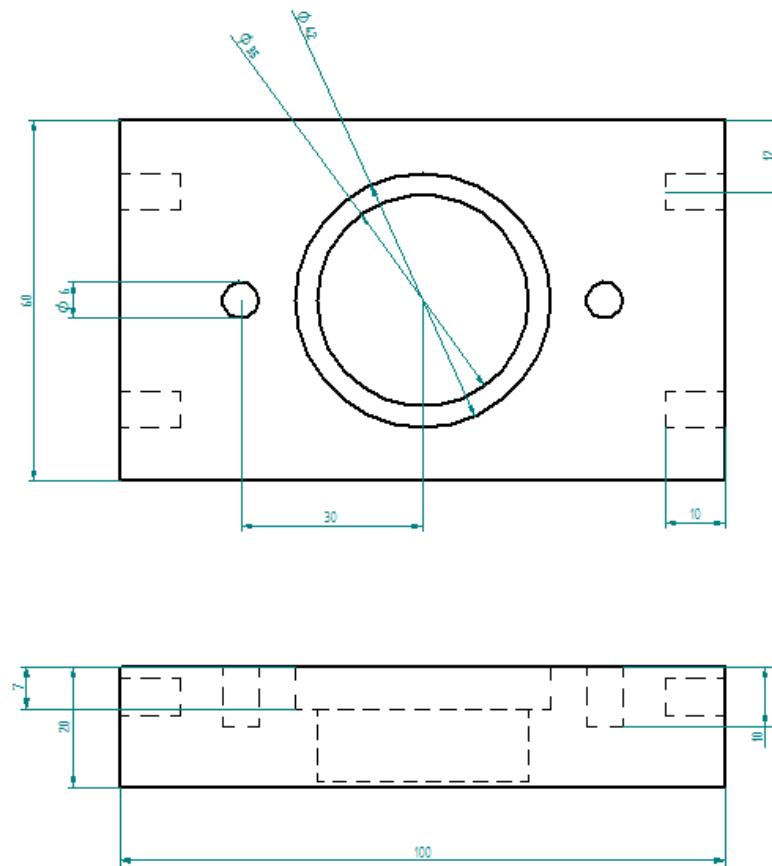
Anexo 16. Plano empack superior

CANTIDAD	MATERIAL
1	Empack

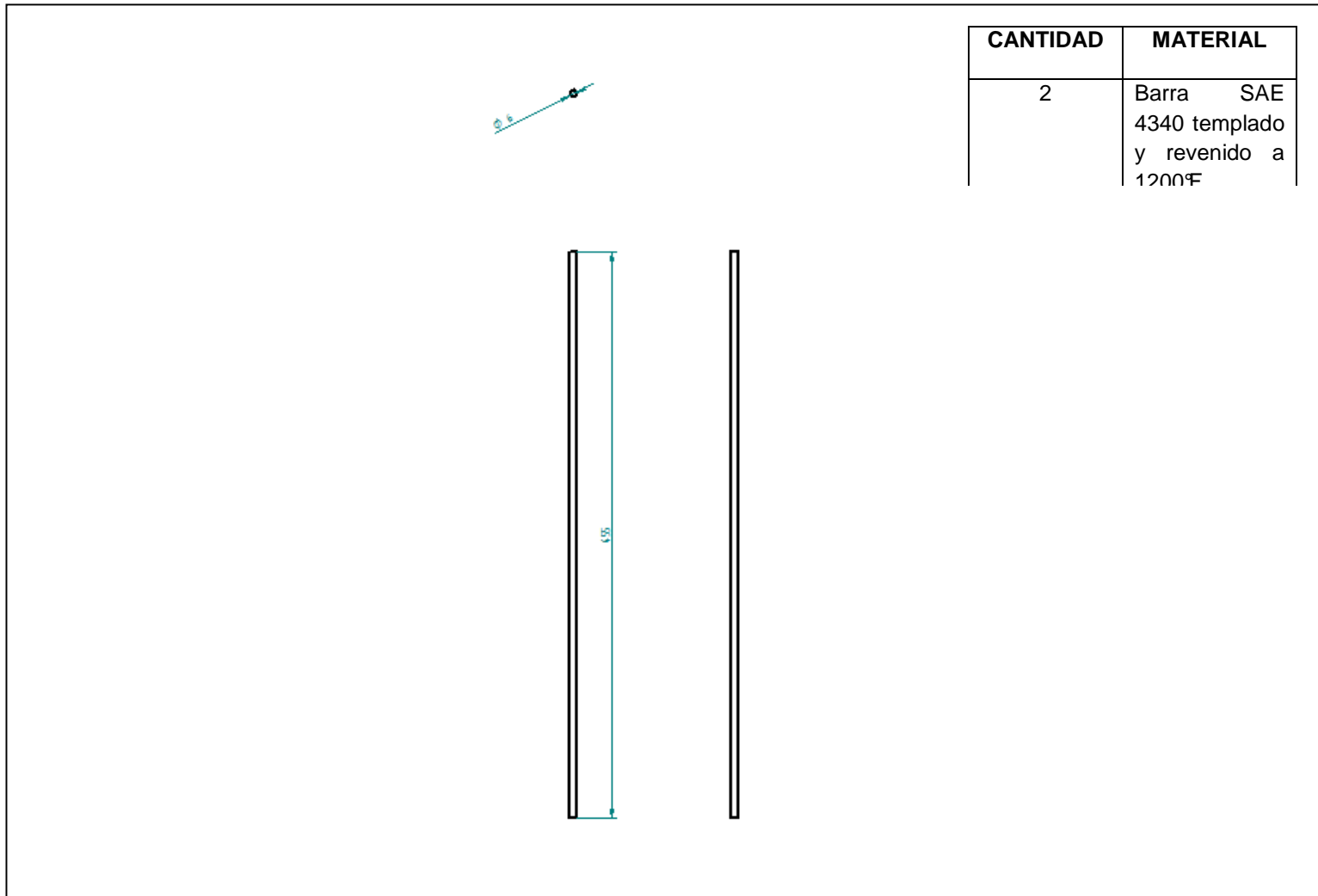


Anexo 17. Plano empack inferior

CANTIDAD	MATERIAL
1	Empack

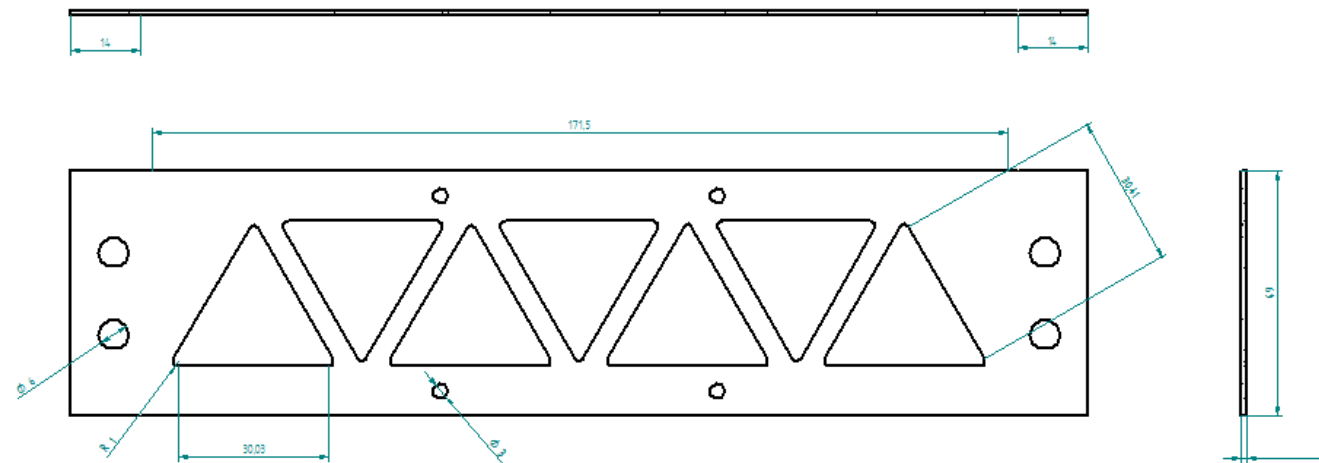


Anexo 18. Plano guía

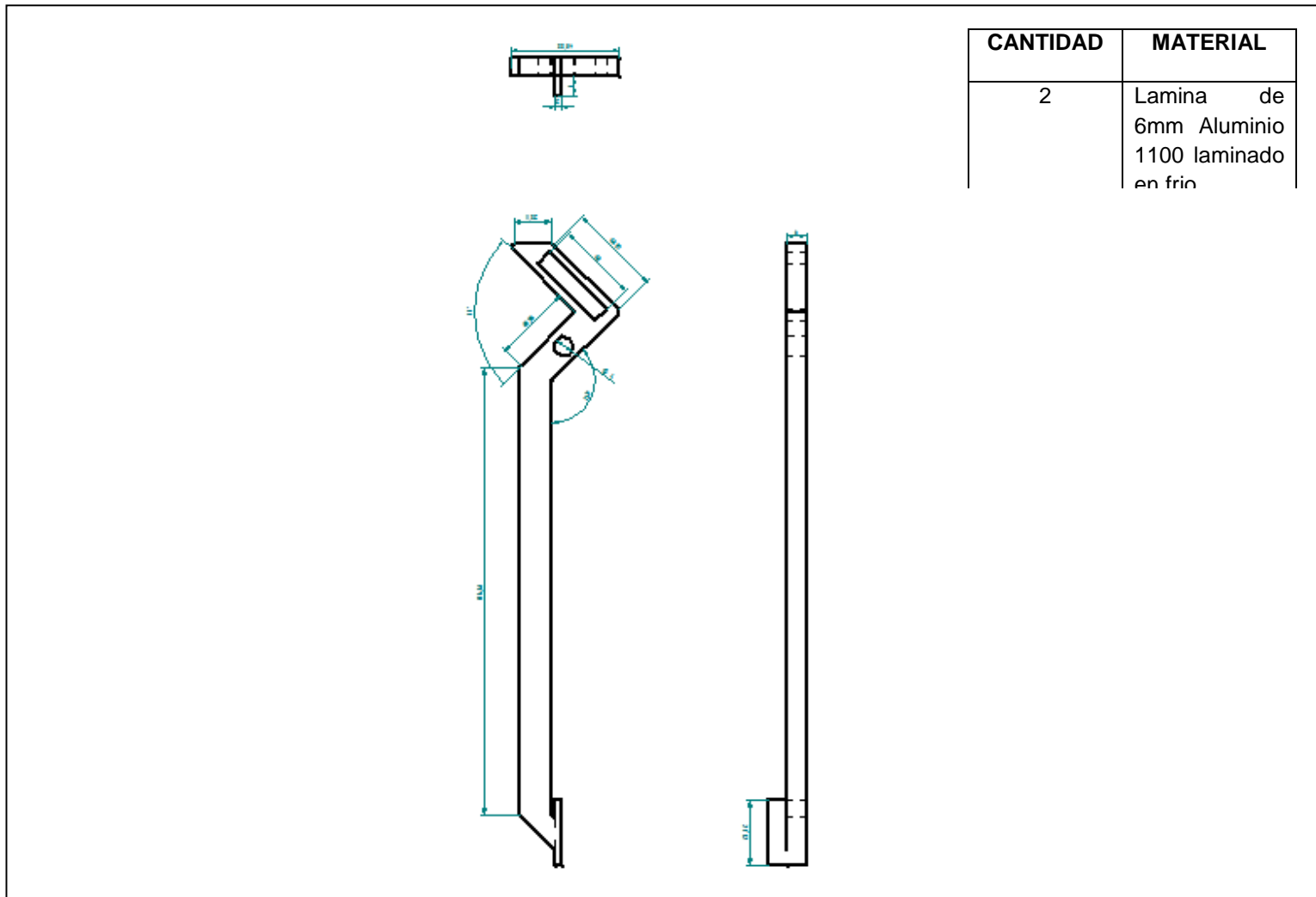


Anexo 19. Plano lateral brazo horizontal

CANTIDAD	MATERIAL
2	Lamina de 3mm Aluminio 1100 laminado en frio

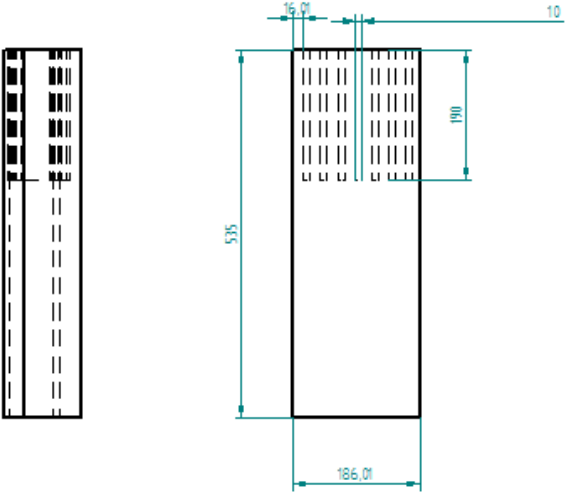
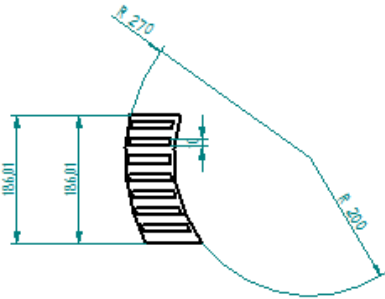


Anexo 20. Plano pinza del gripper



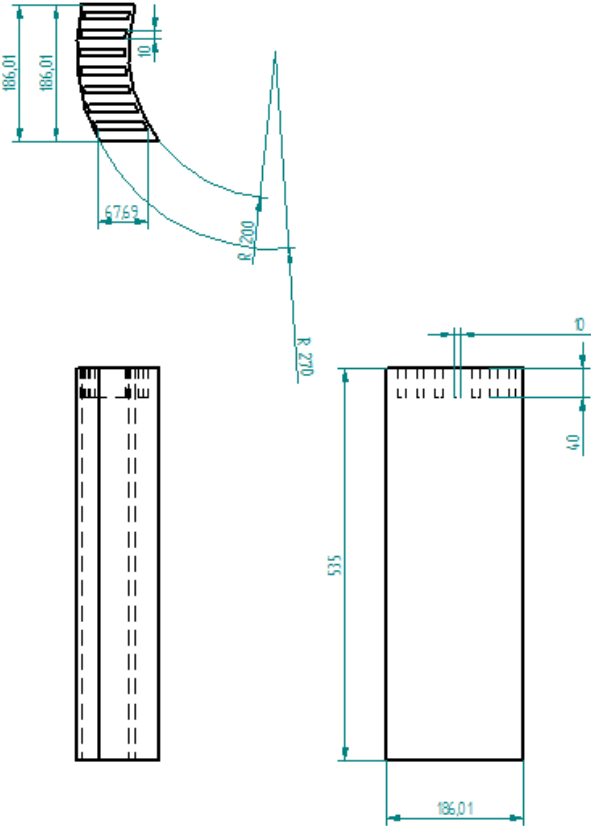
Anexo 21. Plano porta laminas 200mm

CANTIDAD	MATERIAL
1	Madera Cedro



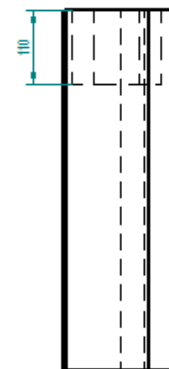
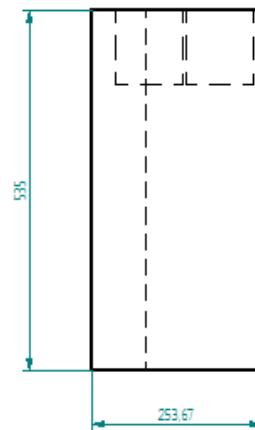
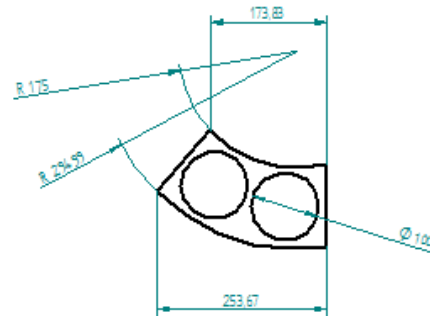
Anexo 22. Plano porta laminas 50mm

CANTIDAD	MATERIAL
1	Madera Cedro



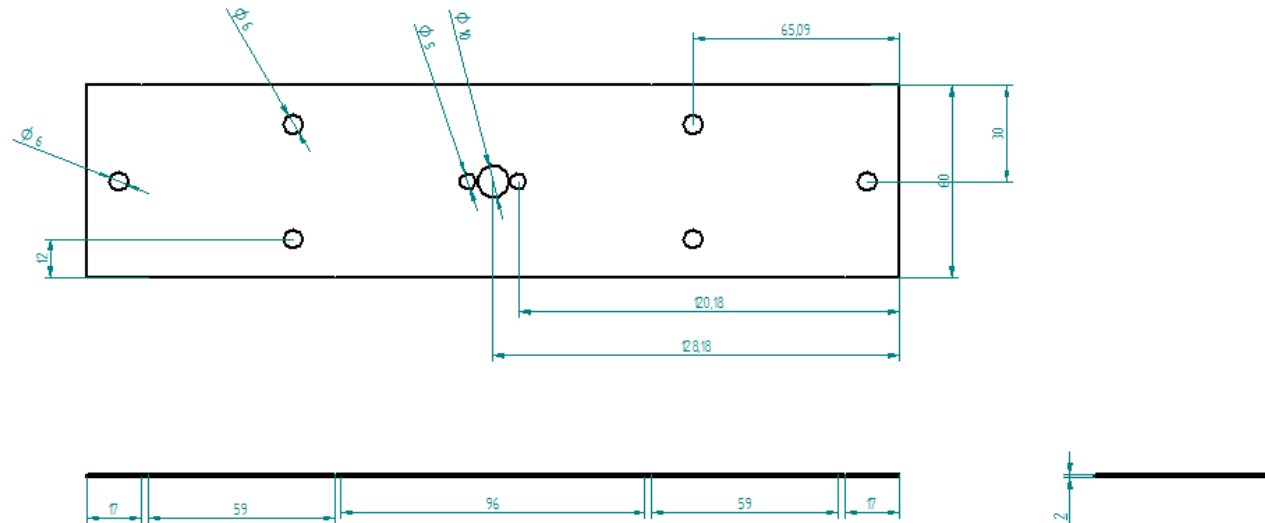
Anexo 23. Plano porta beackers

CANTIDAD	MATERIAL
1	Madera Cedro

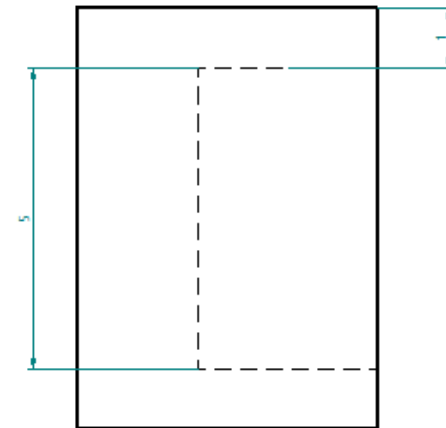
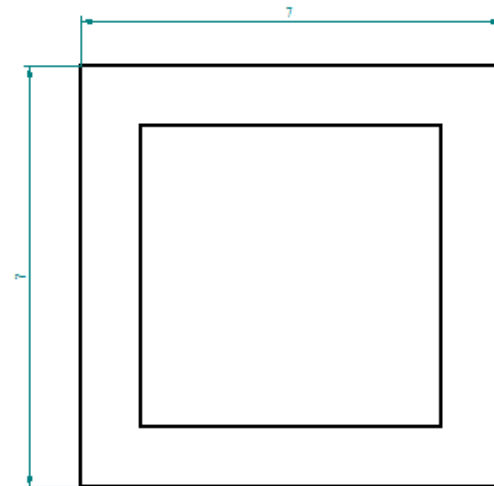
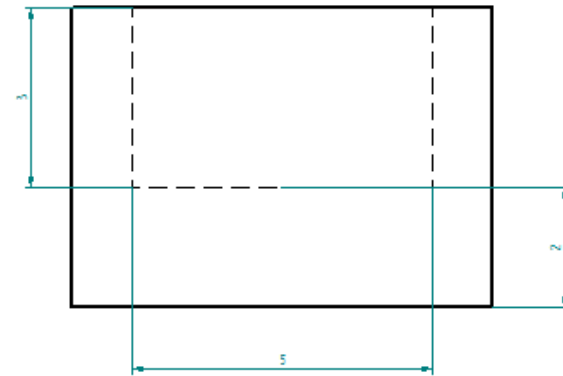


Anexo 24. Plano soporte acople inferior tornillo sin fin

CANTIDAD	MATERIAL
1	Acero cold rolled calibre 14

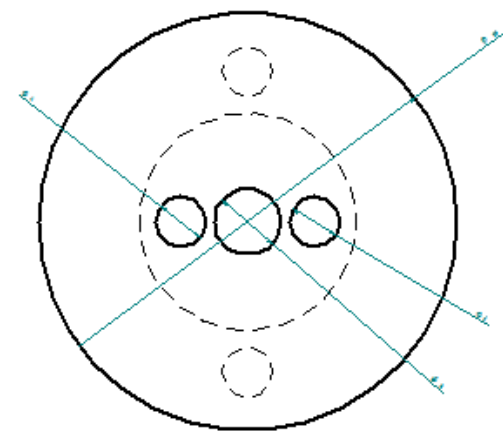


Anexo 25. Plano tapa acople pinzas

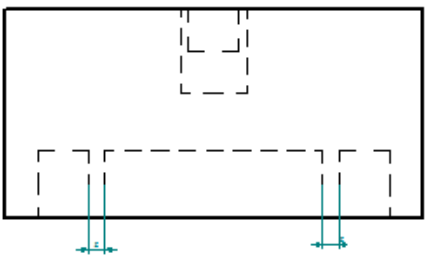
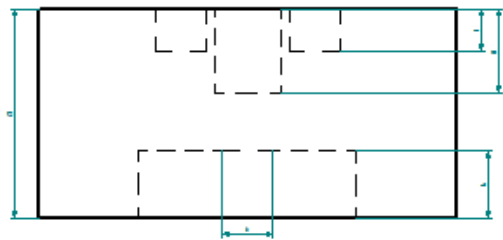


CANTIDAD	MATERIAL
1	Palanquilla SAE 4340 templado y revenido 1200°F

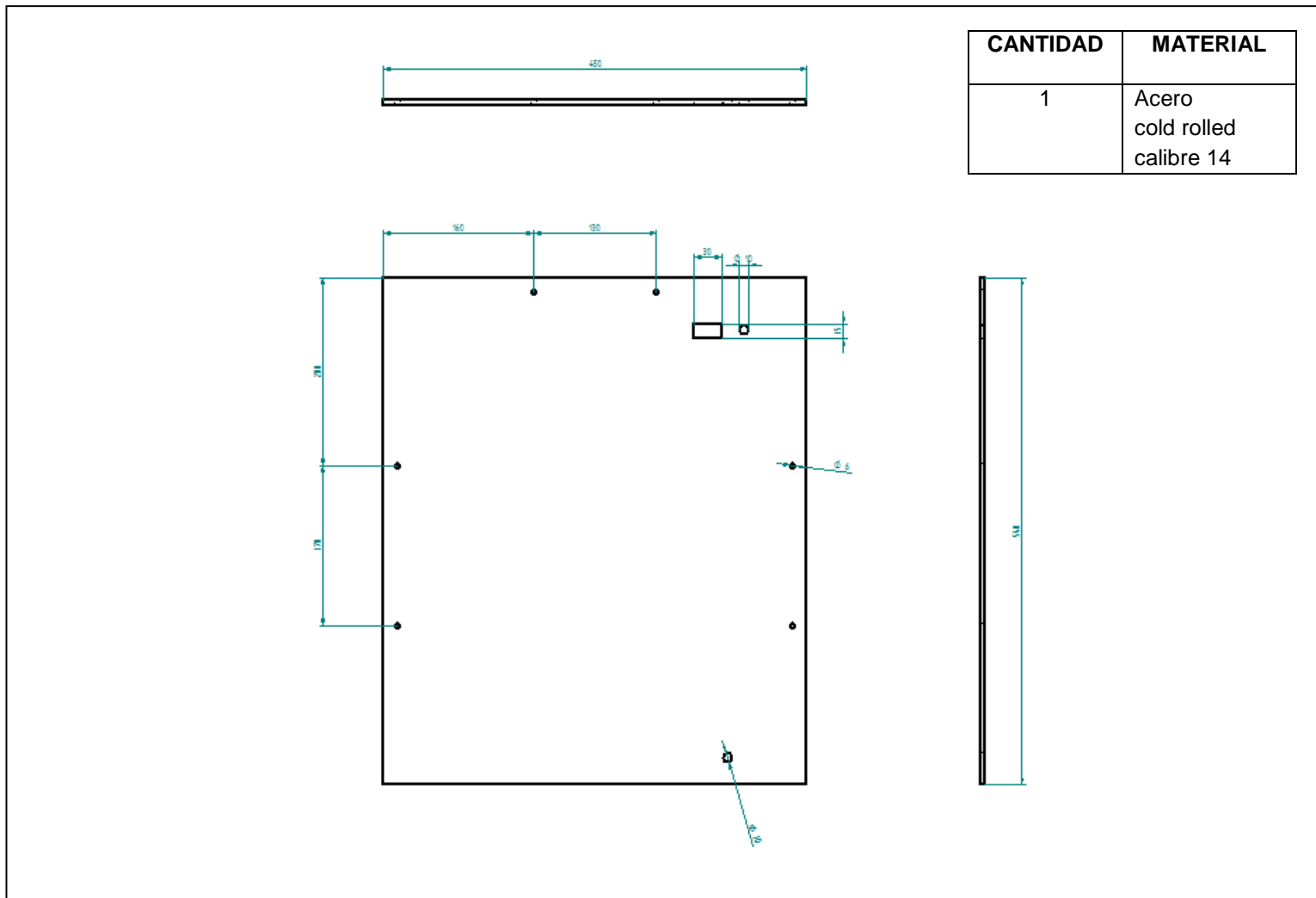
Anexo 26. Plano acople superior tornillo sin fin



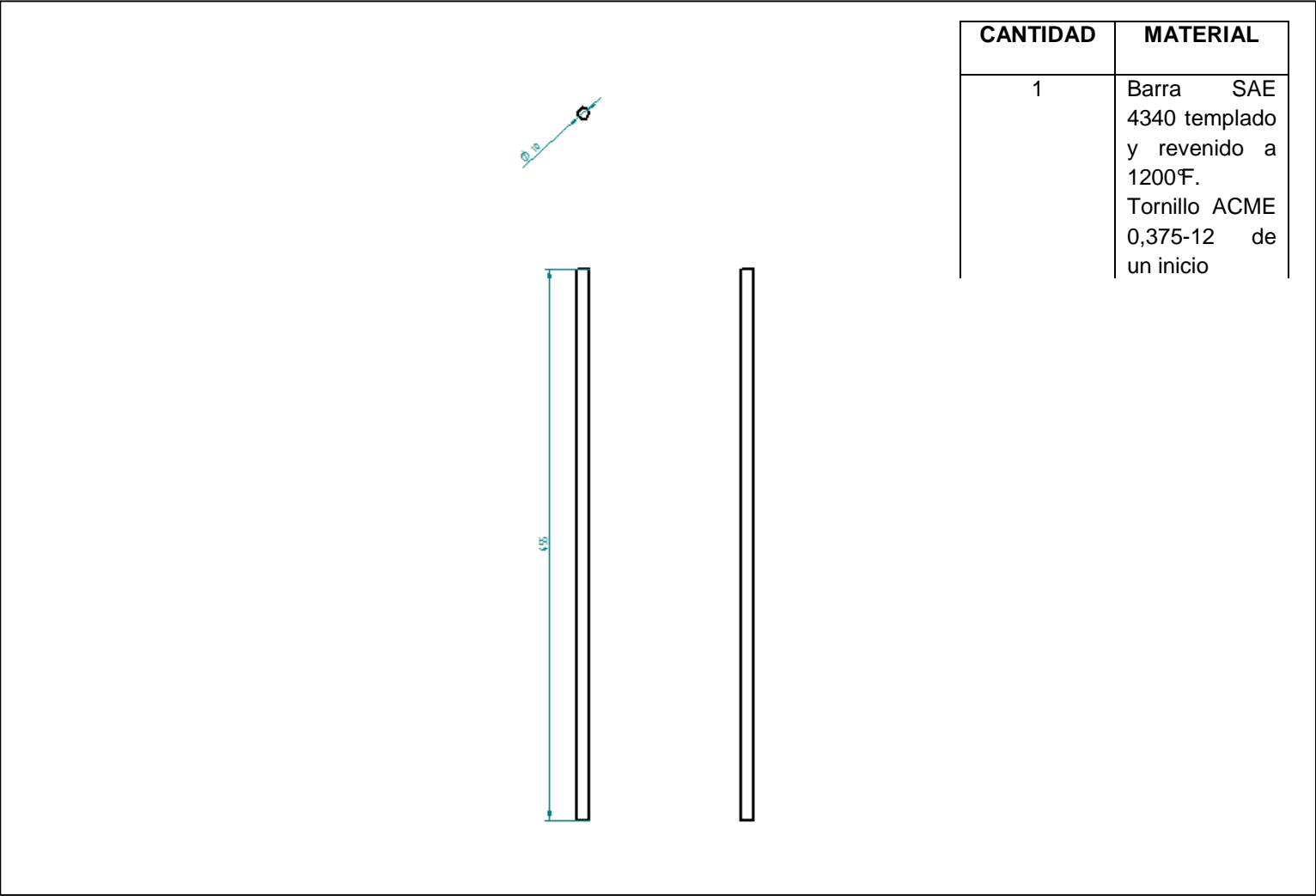
CANTIDAD	MATERIAL
1	Palanquilla SAE 4340 templado y revenido 1200°F



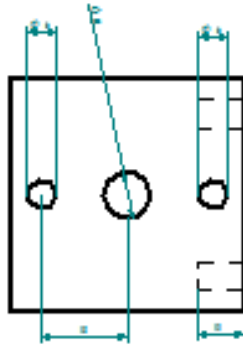
Acople 27. Plano puerta desmontable de la base



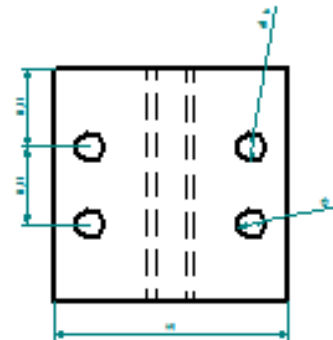
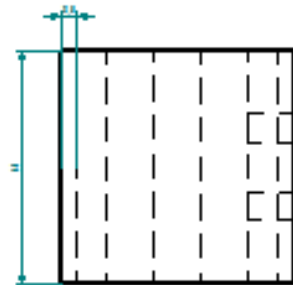
Acople 28. Plano tornillo sin fin



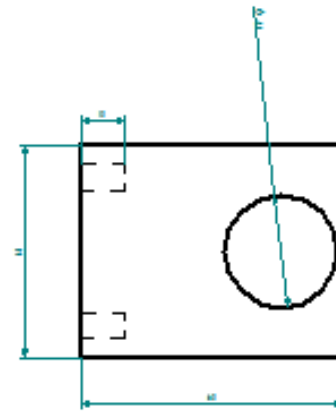
Acople 29. Plano unión 1. Brazo horizontal



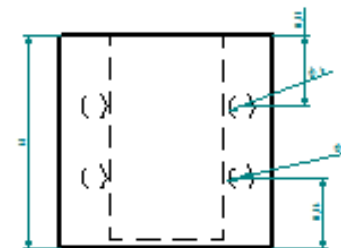
CANTIDAD	MATERIAL
1	Palanquilla SAE 4340 templado y revenido 1200°F



Anexo 30. Plano unión 2. Brazo horizontal

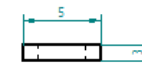
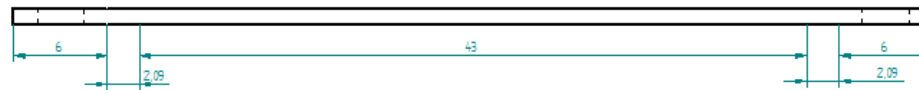
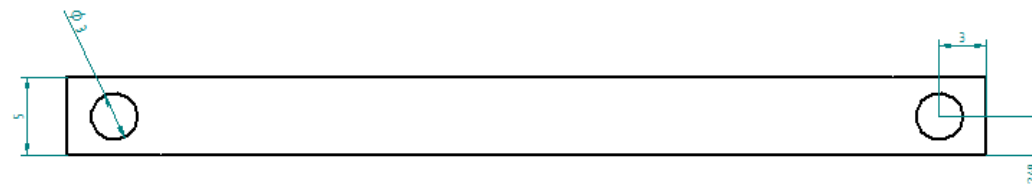


CANTIDAD	MATERIAL
1	Palanquilla SAE 4340 templado y revenido 1200°F



Anexo 31. Plano unión lateral brazo horizontal

CANTIDAD	MATERIAL
4	Lamina de 3mm Aluminio 1100 laminado en frío



Anexo 32. Isométrico

